

# اختيار المحركات الكهربائية

د. فتحي عبد القادر

أستاذ الآلات الكهربائية، هندسة شين الكوم

الكامل.. فإن حرارته تصل إلى درجة تتوقف على نوع المواد العازلة المستخدمة داخل المحرك. وأكثر المواد العازلة شيوعاً هي مواد من نوع (Class B) التي تتحمل حتى ١٣٠°م أو من نوع (Class F) التي تتحمل حتى ١٥٥°م.. أو من نوع (Class H) التي تتحمل حتى ١٨٠°م.

ويقع الكثير من المهندسين في خطأ شائع عندما يفضلون المحرك المصنوع من مواد عازلة (Class H) على المحرك (Class F).. أو المحرك (Class F) على المحرك (Class B).. وذلك بسبب الاعتقاد الخاطئ بأن المحرك (Class H) يتحمل العمل في وسط درجة حرارته مرتفعة عن تلك التي يتحملها أي من (Class F) أو (Class B).. أو أن المحرك (Class H) يتحمل زيادة الحمل عليه عن المحرك (Class F) أو (Class B).

والحقيقة أن أيّاً من المحركات (Class B) أو (Class F) أو (Class H) تصل فيه درجة الحرارة إلى أقصى قيمة (١٣٠°م أو ١٥٥°م أو ١٨٠°م على الترتيب) عندما يعمل عند الحمل الكامل في وسط درجة حرارته ٠°م. أما إذا زادت حرارة الوسط عن ٠°م أو زاد الحمل عن الحمل الكامل.. فإن هذه الأنواع الثلاثة سوف تصبح درجة حرارتها أكثر من تلك التي يتحملها أي



١ - درجة حرارة الوسط الذي يعمل فيه المحرك:

نلاحظ أن المحركات الكهربائية تصمم لتتحمل العمل في وسط درجة حرارته ٠°م.. وإذا كانت درجة الحرارة أقل من ٠°م فإنه يمكن تحميل المحرك بأكثر من الحمل الكامل له حسب درجة هذه الحرارة.. والعكس إذا كانت درجة حرارة الوسط أكبر من ٠°م حيث يجب أن يعمل المحرك بحمل أقل من الحمل الكامل له.

وعندما يعمل المحرك بالحمل

- معدلات توصيل وفصل المحرك.
- درجة الحماية للمحرك.
- منحنيات الأداء للمحركات.
- منحنيات الأداء للحمل الميكانيكي.

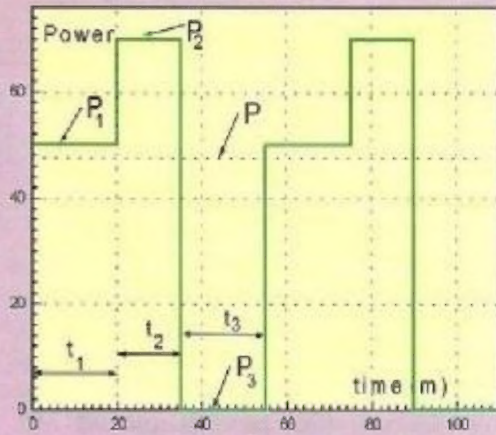
وسوف نتناول هذه الدراسة هذه النقاط بشيء من التفصيل.. لتفصيل ليس فقط عند اختيار المحرك.. وإنما أيضاً عند تشغيل الماكينات المختلفة لمعرفة الطرق المناسبة للتشغيل وضبط وصيانة وسائل التحكم في تشغيل المعدات التي تعمل بالمحركات الكهربائية.

للمحركات الكهربائية أنواع متعددة.. فمنها المحركات التي تعمل على التيار المستمر مثل محرك التوالى ومحرك التوازي والمحرك المركب.. والمحركات التي تعمل على التيار المتردد ثلاثى الأوجه مثل المحرك التثلاثى قصص السنجاب Squirrel Cage Induction Motor وحلقات الانزلاق Slip Rings والمحرك التزامنى Synchro nous Motor بأنواعه المختلفة.. وتلك التي تعمل على التيار المتردد ذو الوجه الواحد مثل محرك التوالى والمحرك التثلاثى بأنواعه المختلفة.

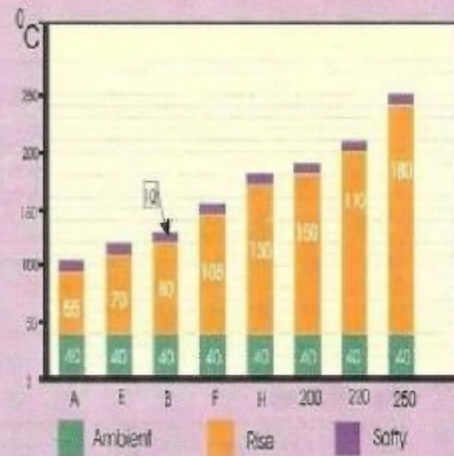
ويرجع السبب في تعدد أنواع المحركات إلى أنه لا يوجد محرك منها يمكن أن نعتبره محركاً مثالياً يناسب جميع الأحمال ويعمل في كل الظروف ويلى بكل الاحتياجات بسعر مناسب وتكاليف تشغيل قليلة وحاجته للصيانة نادرة.. وعلى ذلك.. فإن كل محرك يتم تصنيعه تكون له خواص محددة ومزايا وعيوب تختلف من نوع إلى آخر.

ولكى نحدد نوع وخواص المحرك المطلوب فإننا يجب أن نحدد خواص الأداء والظروف التشغيلية للحمل الميكانيكي الذي سوف يديره هذا المحرك.. مثل:

- درجة حرارة الوسط.
- معدلات زيادة وخفض الحمل على المحرك.



شكل رقم (٢): تغير قدرة الحمل مع الزمن



شكل رقم (١): درجات الحرارة التي تتحملها المواد العازلة



طريقة لإنفاص هذا التيار عند البدء. ولهذا، يركب على المحرك محرك آخر يدير مروحة قوية لتبريده وتتوقف قدرتها على عدد مرات توصيل وفصل المحرك في الساعة.

ويلاحظ أن مثل هذه الحالة تحدث بدرجة أقل في حالة المخترطة الميكانيكية التي يتم تشغيل وإيقاف الظرف فيها بتوصيل وفصل المحرك الكهربى. ويسبب هذا الفصل والتوصيل زيادة في درجة حرارة المحرك الأمر الذى يتطلب - في مثل هذه المخترطة - استخدام محرك كهربى ذو قدرة أكبر من حاجة الحمل الميكانيكى ذاته. بينما باستخدام طريقة ميكانيكية لتشغيل وإيقاف ظرف المخترطة فإن المحرك الكهربى يكون ذا قدرة مساوية للقدرة الميكانيكية.

وتعتبر عملية تكرار توصيل وفصل



50, P2 = 70, P3 = 0) وتكون القدرة المناسبة للمحرك (P = 47.4) وهى أصغر من كل من (P1, P2) وذلك لأن P3 كانت صغيرة وتساوى الصفر كحالة المحرك عند اللامحل.

٣- معدلات توصيل وفصل المحرك: في البند السابق... كان المحرك متصلاً بالمنبع الكهربى وتتغير قيمة الحمل من فترة إلى أخرى... أما في هذا البند فإن المحرك يتم توصيله وفصله من المنبع. وتسمى طبيعة التشغيل هذه بأن المحرك يصعب Multy Starting. أى تتكرر فيه عملية بدء الدوران. كما يحدث في محركات المصاعد الكهربىة. ونظراً لأن تيار بدء الدوران تكون قيمته أضعااف تيار الحمل الكامل المصمم عليه المحرك... فإن عملية بدء الدوران تؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة المحرك وبخاصة أن معظم هذه الأحمال (المصاعد) لا تستخدم أية

حساب الارتفاع في درجة حرارة ملفات المحرك ذاتها من العلاقة التالية:

$$\theta = \frac{(R2 - R1)}{R1} (235 + \theta_1)$$

حيث:  $\theta$ : الارتفاع في درجة الحرارة (م).  $\theta_1$ : درجة حرارة الوسط قبل تشغيل المحرك (م).  $R1$ : مقاومة أى من ملفات المحرك.

أو المقاومة بين أى من طرفي المحرك قبل تشغيله حيث تكون درجة حرارته مساوية لدرجة حرارة الوسط. وتقاس بجهان الأرميتر.

$R2$ : المقاومة بين نفس الأطراف (التي تم قياس  $R1$  بينها) بعد تشغيل المحرك لأى زمن وبأى قيمة للحمل... حيث تكون  $\theta$  هي الارتفاع في درجة الحرارة لهذا الزمن وهذا الحمل.

والرغم (235) هو رقم ثابت يستخدم في حالة أسلاك النحاس... ويتغير إلى (225) في حالة أسلاك الألومنيوم.

ويمكن حساب درجة حرارة المحرك بجمع ( $\theta + \theta_1$ )، وبزيادة الزمن حتى ثبات  $\theta$  تقريباً... يمكن الاستدلال على حالة المحرك ومعروفة إمكانية زيادة الحمل عليه عن هذه القيمة أو خفض هذا الحمل.

٢- معدلات زيادة وخفض الحمل على المحرك:

عندما يعمل المحرك بحيث يكون بدون حمل لفترات معينة ويحمل كامل لفترات أخرى ويحمل متوسط لفترات غيرها... فإن درجة حرارة المحرك تكون أقل منها لو كان محملاً بالحمل الكامل طوال الوقت... ويكون المحرك غير مستغل استقلالاً كاملاً. وفي هذه الحالة فإن محركاً قدرته أقل من قدرة هذا المحرك يمكن أن يدير هذا الحمل بكفاءة... فإله إذا كان يتم تحميل الحمل الميكانيكى بالكامل على المحرك طوال الوقت... فإن اختيار المحرك يتم بحيث تكون قدرته مساوية لقدرة هذا الحمل الميكانيكى. أما إذا كان

الحمل الميكانيكى يتم تحميله على المحرك بقيم تختلف من وقت لآخر... فيتم اختيار المحرك بحيث تكون قدرته أقل من أكبر قدرة للحمل الميكانيكى وتحسب قدرة المحرك من القدرات مختلفة القيمة كما يلي:

$$P = \sqrt{(P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots) / (t_1 + t_2 + \dots)}$$

حيث:  $P$ : قدرة المحرك الكهربى المناسب للحمل الميكانيكى.

$P_1$ : قدرة المحرك عندما يعمل بحمل ميكانيكى معين (يمكن أن يكون أقل أو أكبر من  $P$ ) خلال فترة زمنية  $t_1$ .

وهكذا باقى القدرات  $P_2, P_3, \dots$  عندما تستمر فترات زمنية  $t_2, t_3, \dots$  كما في الشكل رقم (٢) الذى فيه  $(P_1 =$

منهم وتكون درجة الخطورة متساوية على كل منهم. أما ميزة المواد العازلة (Class H) عن المواد العازلة (Class B) مثلاً... فإنها تعتبر ميزة للمصنع الذى ينتج المحرك حيث تكون كمية أسلاك النحاس والصلب السليكونى وبالتالي تكاليف للمحرك (Class H) أقل من المحرك (Class B).

ولهذا... فإن المهندس لا يجب أن يضع في المواصفات التى يحددها عند طلب شراء المحرك درجة العزل - Insulation Class - لأن الدرجة العالية مثل (Class H) لا تعطى ميزة للمستخدم المحرك عن درجة أقل مثل (Class B) إلا إذا كان المطلوب حجماً صغيراً للمحرك وبالتالي وزناً صغيراً وعزماً قصوراً ناتى صغير.

والجدول رقم (١) يبين درجة العزل وأقصى درجة حرارة تتحملها عوازل المحرك حسب المواصفات القياسية الدولية (IEC 34-1).

وعندما تكون درجة حرارة الوسط - ثم فإن الارتفاع في درجة حرارة المحرك المسموح بها يمكن حسابها لكل درجة عزل... وطرح درجة حرارة الوسط مضافاً إليها ١٠م كعامل أسان للمواد العازلة من أقصى درجة حرارة تتحملها المواد العازلة. ويوضح الشكل رقم (١) هذه القيم للمواد العازلة المختلفة.

وعلى سبيل المثال... فإن أقصى درجة حرارة تتحملها درجة العزل (Class B) هي ١٣٠م... ويكون أقصى ارتفاع أو زيادة مسموح بها في درجة حرارة المحرك منذ بدء حركته إلى ما بعد استقرار درجة الحرارة هو: ١٢٠ - ١٠ = ١١٠م. وعلى ذلك... فإذا كانت حرارة الوسط - ثم فإن أقصى زيادة مسموح بها في حرارة المحرك هي ١٢٠م في حالة (Class F). وتكون أقصى درجة حرارة يمكن أن يصل إليها هي ٢٢٠م - ١٠م = ٢١٠م كعامل أمان للمحرك.

وتتغير قيمة أقصى ارتفاع في الحرارة بتغير درجة حرارة الوسط حيث تزيد هذه القيمة لكل المواد العازلة إذا انخفضت درجة حرارة الوسط... وتكون قيمة الزيادة في أقصى ارتفاع في درجة الحرارة هي نفس قيمة انخفاض درجة حرارة الوسط عن ٤٠م والعكس. فإذا انخفضت حرارة الوسط إلى ٢٥م... ففي حالة (Class B) مثلاً فإن أقصى ارتفاع يزيد من ٨٠م إلى ٨٠ + ٤٠ = ١٢٠م... وتبقى أقصى درجة حرارة مسموح بها ثابتة وهى ١٢٠م.

ويمكن معرفة درجة حرارة المحرك بعدة طرق كما جاء في المواصفة الدولية (IEC34-1). وأهم هذه الطرق هى

جدول رقم (١): أقصى درجة حرارة تتحملها عوازل المحركات						
درجة العزل	A	E	B	F	H	250
أقصى درجة حرارة (م)	105	120	130	155	180	250

جدول رقم (٢): مواصفات رقم العشرات في درجة الحماية	
رقم العشرات	درجة الحماية من تماس أو دخول أجسام غريبة
0	لا توجد أية حماية.
1	الحماية ضد دخول أجسام غريبة ذات قطر أكبر من ٥٠مم.
2	الحماية ضد دخول أجسام غريبة ذات قطر أكبر من ١٢مم.
3	الحماية ضد أجسام غريبة ذات قطر أكبر من ٢٥مم.
4	الحماية ضد دخول أجسام غريبة ذات قطر أكبر من ١مم.
5	الحماية ضد دخول الأتربة التى تترسب وتكون ضارة بالمحرك. ودخول الأتربة ليس ممنوعاً كلياً ولكن الأتربة يجب أن لا تدخل بكمية تكون كافية لعدم تشغيل المحرك بطريقة مناسبة كما أن الحماية تكون كاملة ضد دخول أجسام غريبة.
6	الحماية كاملة ضد دخول أى أتربة... والحماية كاملة ضد دخول أجسام غريبة.

جدول رقم (٣): مواصفات رقم الآحاد في درجة الحماية	
رقم الآحاد	درجة الحماية ضد دخول المياه
0	لا توجد حماية.
1	توجد حماية. المحرك يتحمل تساقط نقاط المياه التى تسقط رأسياً على المحرك.
2	المحرك يتحمل نقاط المياه التى تساقط عليه رأسياً وأيضاً إذا حدث ميل للمحرك بزاوية حتى ١٥°.
3	المحرك يتحمل تساقط المياه عليه رأسياً أو التى تسقط بميل يصنع زاوية مع المستوى الرأسى حتى ٦٠°.
4	المحرك يتحمل المياه التى ترش عليه من أى اتجاه.
5	المحرك يتحمل المياه التى تسقط عليه من خرطوم مياه في أى اتجاه.
6	المحرك يتحمل المياه التى تسقط عليه بشكل نافورة قوية (Powerful Water Jet) من أى اتجاه.
7	المحرك يتحمل أن يغمر في المياه حتى ضغط مياه محدود.
8	المحرك يتحمل أن يغمر في المياه طوال الوقت وتحت ظروف تشغيل يحددها الصانع.





من أية إصابات مثل مياه الشرب.  
- إذا كان رقم العشرات في درجة الحماية هو ١ أو ٢.. أو كان رقم الأحاد هو ١ أو ٢ أو ٣ أو ٤.. فإن الفصل والحماية بالنظر سوف يكون كافياً. وإذا حدث شك فتجربى الاختبارات الموصفة في الجدولين رقمى (٤) و (٥).

#### العدد القادم:

- منجنبات الأداء للمحركات.
- منجنبات الأداء للأحمال.

اعتبارات تؤخذ عند إجراء الاختبارات اللازمة للتأكد من سلامة درجة الحماية:  
- الاختبارات اللازمة للتأكد من سلامة درجة الحماية. هى اختبارات لعينات من المحركات وليست على كل محرك ينتج.

- يجب أن تجرى الاختبارات على عينة جديدة ونظيفة وكاملة الأجزاء.

- يجب أن تكون المياه التى تجرى بها اختبارات الحماية مياه متجددة وخالية

للمحرك والأجزاء الميكانيكية الخارجية حيث يتحدد بالنال الطريقة التى تصنع بها هذه الأجزاء حتى تتحقق المواصفات التى يجب الوصول إليها عند الاستخدام.

- لا تحدد درجة حماية المحرك من تحطم أجزائه الميكانيكية عندما يتعرض لمخاطر الانقجار.

- تحدد الاختبارات اللازمة للتأكد من وصول كل جزء إلى الدرجة المحددة له.

#### طريقة كتابة درجة الحماية

تتكون درجة الحماية من حرفين ورقمين مثل IP54. الحرفان هما (IP) وهما اختصار لكلمتى International Protection أما الرقمان فأحدهما فى خانة الأحاد والآخر فى خانة العشرات.

- رقم العشرات يأخذ صفراً أو واحداً أو اثنين ويتزايد حتى رقم ٦. وهذا الرقم يحدد درجة الحماية من تماس أو دخول أجسام غريبة للمحرك. وهذه الدرجات مفصلة وموصفة فى الجدول رقم (٣).

- أما رقم الأحاد.. ف يأخذ صفراً أو واحد أو اثنين ويتزايد حتى رقم ٨. وهذا الرقم يحدد درجة الحماية من دخول المياه.. ويوضح الجدول رقم (٣) هذه الدرجات مفصلة وموصفة.

المحرك من أهم العوامل التى تمثل خطورة على المحركات الكهربائية والتى يجب تصادياً بقدر الإمكان أو زيادة تبريد المحرك أو زيادة قدرته وهو ما يتوقف على ظروف وطبيعة كل حالة.

٤ - درجة الحماية للمحرك الكهربى: يتم تقسيم درجة الحماية للمحركات الكهربائية التى تعمل على جهد حتى ٧٢,٥ ك ف. بتصميم الشكل المناسب لأوجه المحرك وصندوق أطرافه وكل الأجزاء الميكانيكية التى تتضمن هذه الحماية طبقاً للمواصفات القياسية (IEC 34 - 5).. وتشمل:

١ - حماية الأشخاص عند لمس المحرك أو الاقتراب من أى جزء فيه.. وكذلك الحماية من أن يمس الإنسان أى أجزاء دوائره.. بما يعنى أن أى جزء من جسم الإنسان مثل اليد أو الأصابع لا تستطيع أن تدخل داخل المحرك أو تصل إلى الأجزاء الدوارة به.. وأيضاً حماية المحرك من أن تمسه أية أجسام غريبة تدخل فيه.

ب - حماية المحرك من دخول أية مياه إليه.

وهذه المواصفات القياسية: - تعلب على الغلاف العاوى

جدول رقم (٤) اختبار درجة الحماية من تماس أو دخول أجسام غريبة إلى المحرك		
مواصفات الاختبار		رقم العشرات
الحماية من التماس	الحماية من دخول أجسام غريبة	
لا توجد اختبارات	لا توجد اختبارات	0
تستخدم كرة صلبة بقطر ٥٠ مم وتضغط فى فتحات الغلاف بقوة ٥٠ نيوتن. ويجب أن لا تدخل الكرة بحيث تمثل خطورة على المحرك.		1
اختبار دخول أصابع اليد يجرى كما هو موصى به فى المواصفة: DIN 57470 - PART I	تستخدم كرة صلبة بقطر ١٢,٥ مم وتضغط فى فتحات الغلاف بقوة ٣٠ نيوتن. ويجب أن لا تدخل الكرة بحيث تمثل خطورة على المحرك.	2
يستخدم سلك معدني بقطر ٢,٥ مم ويضغط به فى فتحات الغلاف بقوة ٣ نيوتن. ويجب أن لا يدخل السلك داخل أجزاء المحرك بحيث يمثل خطورة.		3
يستخدم سلك صلب بقطر ١,٥ مم ويضغط به فى فتحات الغلاف بقوة ١ نيوتن. ويجب أن لا يدخل السلك داخل أجزاء المحرك بحيث يمثل خطورة. غرفة اختبار الأتربة كما بالمواصفة DIN 40052		4,5,6

جدول رقم (٥): اختبار درجة الحماية من دخول المياه (اختبار للمواصفة المحددة فى رقم الأحاد فى درجة الحماية للمحرك)	
رقم الأحاد	مواصفات الاختبار
0	لا توجد اختبارات.
1,2	وحدة التثقيب كما هو موضح فى المواصفة DIN 40053 PART 1,2
3,4	أنبوبة المياه المتأرجحة والرشاش حسب المواصفة DIN 40053 PART 2,3
5	تستخدم فونية رش المياه رقم ٦ حسب المواصفة DIN 40053 PART 4
6	تستخدم فونية رش المياه رقم ١٢ حسب المواصفة DIN 40053 PART 4
7	يقصر المحرك بالكامل فى المياه بالشروط التالية: - أن يكون مستوى المياه فوق أعلى نقطة فى المحرك وبمسافة لا تقل عن ١٥٠ مم. - أدنى نقطة فى المحرك يجب أن تبعد عن المياه بما لا يقل عن متر. - أن يستمر الاختبار فترة لا تقل عن نصف ساعة. - درجة حرارة المياه يجب أن لا تختلف عن درجة حرارة المحرك بأكثر من ٥°م وهذا الاختلاف يمكن تعديله إذا رأت اللجنة الفنية ذلك خصوصاً إذا كان المحرك يعمل فى هذا الاختبار. ويجب أن لا تتخلل المياه المحرك بدرجة تمثل خطورة.
8	يتم الاتفاق على الاختبارات بين الصانع والمستهلك بحيث لا يقل المستوى عما جاء فى رقم 7 السابق.

٥٤ ٥ ٥٧١.١٨٠

٥٤ ٥ ٥٧١.٢٥٠

٥٤ ٥ ٥٧١.٤٠٠

٥٤ ٥ ٥٧١.١٨٠

٥٤ ٥ ٥٧١.٢٥٠

٥٤ ٥ ٥٧١.٤٠٠

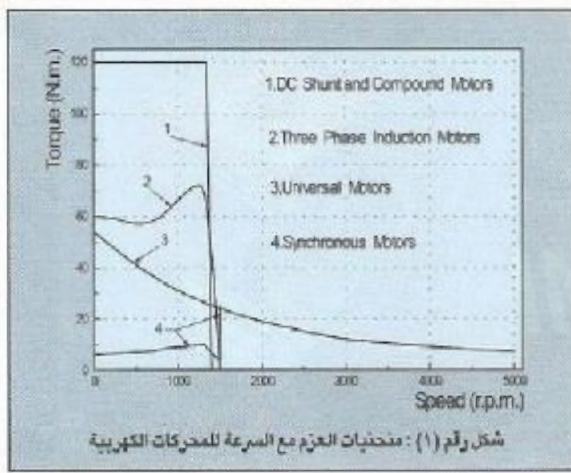
### مجموعة القاهرة للكهرباء

٩ ش رستم - جاردن سيتي - القاهرة  
ت : ٣٥٦١٣٣٧ - فاكس : ٣٥٦٢٧١١



## اختيار المحركات الكهربائية (٢)

د. فتحي عبد القادر  
أستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شيبين الكوم



المحركات التآثيرية ذات الوجه الواحد تستخدم بدلاً من المحركات التآثيرية ذات الثلاثة أوجه فقط عندما يكون المصدر الكهربى المتاح ذا وجه واحد ولا يوجد مصدر ثلاثى الأوجه. ويقع الكيثرون فى خطأ شائع عندما يستخدمون محركات تآثيرية ذات وجه واحد بدلاً من ذات الثلاثة أوجه رغم توفر المصدر الكهربى ثلاثى الأوجه. هذه المحركات العامة Universal Motors:

وهي تشبه محركات التيار المستمر التوالى.. إلا أن العضو الثابت فيها مكون من رقائق الصلب السليكونى بدلاً من الحديد المصمت.. ولهذا فإنها تعمل على مصدر التيار المستمر أو المتردد.. وعزم البدء فيها عال جداً يزيد عن خمسة أضعاف عزم العمل الكامل. وهي أعلى المحركات سرعة حيث يمكنها أن تصل إلى حوالى عشرة آلاف لفة/ دقيقة. ويعيوبها الرئيسية تركز في تغير

حاجة للصيانة.. إلا أن عيوبها الرئيسية أنها مازالت أعلى المحركات تكلفة من حيث التحكم في السرعة حيث يصل زمن تنظيم السرعة إلى حوالى أربعة أمثال زمن المحرك ذاته. بينما يكون زمن تنظيم السرعة في محركات التيار المستمر حوالى ٢٠٪ فقط من زمن المحرك. والعيوب الثانية لهذه المحركات هو حاجتها إلى تحسين معامل قدرتها. ويلاحظ أن عزم البدء لها يصل إلى حوالى ٢٥٠٪ عزم العمل الكامل.

د- المحركات التآثيرية ذات الوجه الواحد Single Phase Induction Motors:

تشابه هذه المحركات في مزاياها وعيوبها مع المحركات التآثيرية ذات الثلاثة أوجه.. إلا أن المحركات التآثيرية ذات الوجه الواحد أعلى من حيث شدة التيار وأقل من حيث معامل القدرة وأكثر حاجة للصيانة من المحركات التآثيرية ذات الثلاثة أوجه.. ولهذا فإن

وبالطبع.. فليس هناك نوع محدد من المحركات له كل الخواص السابقة.. ولكن لكل نوع مزايا هي جزء من هذه الخواص.. ويعيوب هي عدم تحقيقى باقى هذه الخواص.

ويمكن تقسيم أنواع المحركات الكهربائية إلى الأنواع العامة التالية:

١- محركات التيار المستمر DC Motors: وتستخدم عندما يكون الحمل في حاجة للعزم عند سرعات مختلفة ويحتاج لعزم بدء عالى. وهذه المحركات تعطي أكبر عزم بدء عن أى نوع آخر من المحركات - يصل إلى حوالى خمسة أضعاف عزم العمل الكامل - وهي أفضل المحركات التي يمكن التحكم في سرعتها بكفاءة ودقة وحساسية عالية ومدى كبير للتغير في السرعة.. والتكلفة الابتدائية وتكاليف التشغيل لمنظم السرعة فيها تكون أقل من أى نوع آخر من المحركات. وعلى هذا.. فإن محركات التيار المستمر تعطى أكبر عزم بدء.. وتعتبر من أفضل المحركات من حيث تنظيم السرعة. أما عيوبها الرئيسية فتتمثل في أن ثمنها أعلى من أى محرك آخر وتحتاج لصيانة متكررة.

ب- المحركات التزامنية Synchronous Motors:

وهي أفضل المحركات التي تعطى سرعة ثابتة مهما تغير عزم الحمل ويمكنها أن تعمل بمعامل قدرة متقدم Lead Power Factor.. إلا أن عيوبها الرئيسية هو أنها أقل المحركات في عزم البدء والذي يصل إلى حوالى ٢٠٪ من عزم الحمل الكامل. ج- المحركات التآثيرية ثلاثية الأوجه 3 Phase Induction Motors: وهي أقل المحركات ثمنًا وأقلها

تناولنا في العدد السابق دراسة أربعة من العوامل التي تؤثر على اختيار المحركات الكهربائية.. وفي هذا العدد نستكمل الدراسة بتناول كل من منحنيات الأداء للمحركات الكهربائية ومنحنيات الأداء للحمل الميكانيكي.

٥- منحنيات الأداء للمحركات الكهربائية

في عجلة نستطيع أن نلخص الخواص والمواصفات التي يجب أن يتمتع بها المحرك الكهربى المثالى - في التالى:

١ - ثمنه عند الشراء.. أقل ما يمكن.  
٢ - كفاءته.. Efficiency أعلى ما يمكن حتى تقل تكاليف التشغيل Running Cost.

٣ - تكاليف الصيانة له.. أقل ما يمكن.  
٤ - عمره الافتراضى.. طويل جداً.

٥ - عزمه عند بدء الدوران.. عالى.  
٦ - يشغل الحمل بسرعات مختلفة.. بحيث يمكن تغيير السرعة بأية قيمة صغيرة. وخلال مدى كبير للسرعة (كمثال من حوالى ١٠٠ لفة/ دقيقة حتى حوالى ١٠ آلاف لفة/ دقيقة).

٧ - سرعة المحرك عند القيمة المضبوط عليها.. تبقى كما هي مهما تغير عزم الحمل بالزيادة أو النقصان.

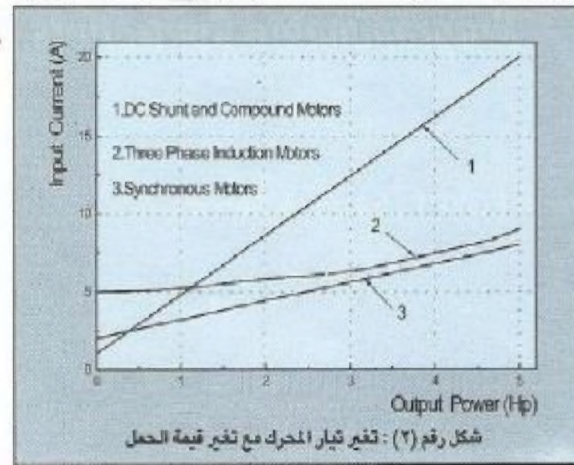
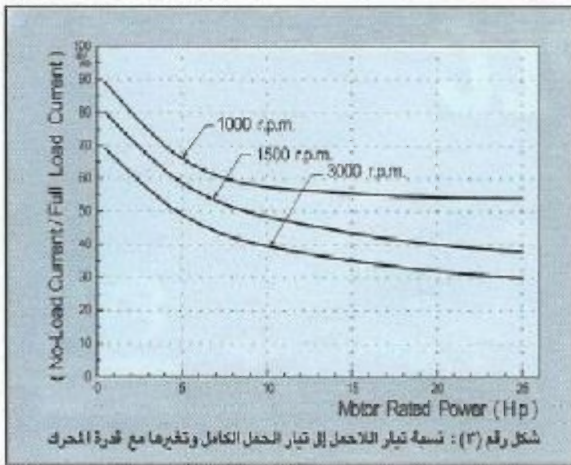
٨ - وسيلة التحكم في سرعة المحرك.. ثمنها قليل بالنسبة لثمن المحرك وتكاليف تشغيلها وصيانتها قليلة.

٩ - معامل القدرة.. يساوى الواحد الصحيح.

١٠ - قيمة العزم.. عالية بالنسبة للامبير High Torque Per Ampere.

١١ - يمكنه العمل على المصدر الكهربى المتاح سواء كان ثلاثى أو أحادى الأوجه بتيار مستمر أو متردد.

أنواع المحركات الكهربائية :





Magnetising Reactance وبالتالى زيادة تيار اللاحمل. ويمكن الحصول على زيادة درجة التشبع في التصميمات الحديثة - برغم ما يسببه ذلك من زيادة درجة حرارة المحرك - باستخدام المواد العازلة الحديثة التى تتحمل درجات الحرارة العالية.

#### مقارنة بين خواص المحركات القائية ذات الوجه الواحد:

يتم إنتاج المحركات القائية ذات الوجه الواحد بأنواع متعددة.. والاختلاف الرئيسى بينها هو قيمة عزم بدء الحركة. يوضح الشكل رقم (٤) الفروق بين عزوم هذه الأنواع عندما تكون قدرة الحمل الكامل لآى منها مساوية لنصف حصان. وقد تم إضافة منحني عزم المحرك التائري ثلاثى الأوجه بنفس القدرة (٥٠٠٠ حصان) وذلك للتأكيد على مزايا المحرك التائري ثلاثى الأوجه عن أى من أنواع المحركات القائية ذات الوجه الواحد. ويتم حالياً في مصر إنتاج أنواع من هذه المحركات في عدة مصانع - في القاهرة و٦ أكتوبر و ١٠ رمضان.

وفي الشكل رقم (٤) يعطى المنحني رقم (١) للمحرك التائري ثلاثى الأوجه أكبر عزم بدء (٦٠٠ كجم سم) .. يليه المحرك "Capacitor Start" ويظه

اللاحمل يكون كبيراً وذلك لصغر قيمة معامل القدرة.. ثم يتزايد بمعدل بسيط مع زيادة الحمل لزيادة معامل القدرة.

يقع الكثير من المهندسين في حيرة عندما يجدون تيار هذه المحركات التائرية عند اللاحمل كبيراً بحيث يقترب من تيار الحمل الكامل.. وهى خواص طبيعية لهذه المحركات. وسوف نجد أن تيار اللاحمل يتراوح بين ٦٦-٨٦٪ من قيمة تيار الحمل الكامل عندما تكون قدرة المحرك واحد حصان. والنسبة الصغيرة تكون للمحركات ذات السرعة العالية (٢٠٠٠ لفة/ دقيقة) أما النسبة الكبيرة فتكون للمحركات ذات السرعة المنخفضة (١٠٠٠ لفة/ دقيقة). وكلما زادت قدرة المحرك عن الواحد حصان كلما انخفضت هذه النسبة حيث تتراوح بين ٣٠ - ٥٤٪ عندما تكون قدرة المحرك ٢٥ حصان كما في الشكل رقم (٣). كما يلاحظ أن نسبة تيار اللاحمل إلى تيار الحمل الكامل تزيد كلما كان وزن حديد الصلب السليكونى - وبالتالى وزن أسلاك النحاس - في المحرك قليلاً بالنسبة إلى قدرته وذلك في التصميمات الحديثة للمحركات حيث يقل وزن المحرك لنفس القدرة.. ويتم ذلك بزيادة درجة التشبع المغناطيسى في الحديد والذي يتبعه نقص مساحة المغنطة

ويلاحظ أن محرك التيار المستمر من نوع التوالى يكاد يكون هو المحرك العام نفسه.

وقد وضعت في هذا الشكل خواص المحرك التزامنى الذى كان قليل الاستخدام كمحرك يقوم بتشغيل الأحمال الميكانيكية.. وكان يستخدم أكثر بدون حمل ميكانيكى ليقوم بتحسين معامل القدرة.. ولكن استخدامه في تشغيل الأحمال الميكانيكية زاد في الآونة الأخيرة بعد ظهور مغبرات التردد لتغير سرعة هذا المحرك.. حيث يمكن في هذه الحالة أن يعمل هذا المحرك بأقل تيار (معامل قدرة الوحدة) ويعطى بسهولة أكثر من المحرك التائري قيمة عالية للعزم بالنسبة للتيار.. وبالتالى كفاءة أعلى وقدرة خرج أكبر. ومن الخواص الهامة للمحركات الكهربائية - قيمة التيار ومعدل تغيره مع تغير الحمل على المحرك. يوضح الشكل رقم (٢) تغير تيار المحرك مع تغير قدرة الحمل على المحرك. وللمقارنة.. اعتبرنا قدرة خرج الحمل الكامل واحدة بقيمة ٥ حصان للأنواع المختلفة. ونلاحظ أن محركات التيار المستمر تأخذ أقل تيار عند اللاحمل.. وبزيادة الحمل يزداد التيار زيادة خطية.. وعند الحمل الكامل يكون التيار أكبر من المحركات الأخرى التائرية والتزامنية لأنها تكون ذات ثلاثة أوجه - حيث تنقسم القدرة على الأوجه الثلاثة - والمحركات التزامنية تكون تياراتها منخفضة عندما تعمل في تشغيل حمل ميكانيكى.. حيث يكون معامل القدرة حول الواحد الصحيح وذلك لمزايا كفاءة المحرك.. أما المحركات التائرية فإن تيارها عند

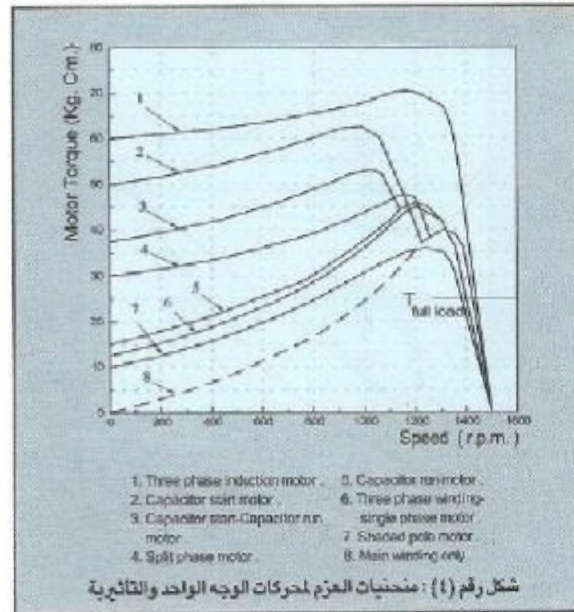
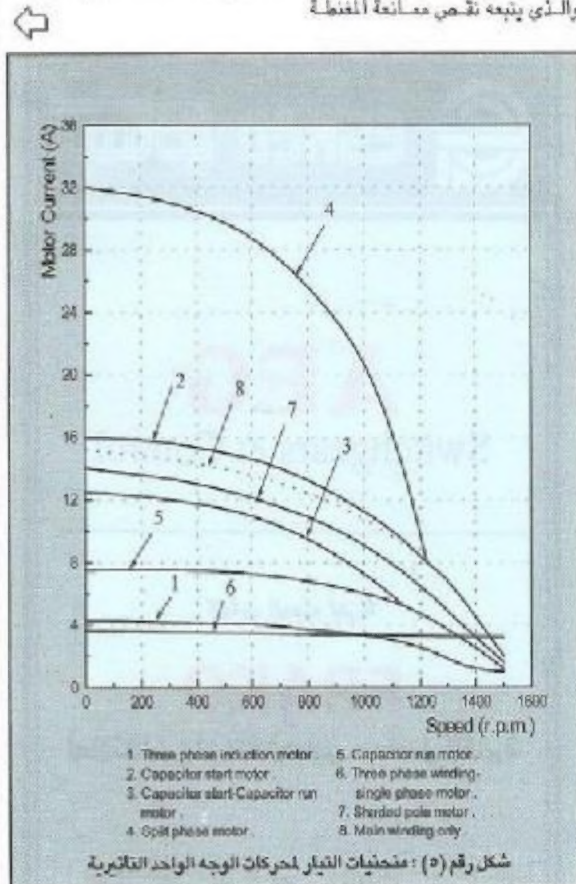
سرعتها بنسبة كبيرة بتغير عزم الحمل.. كما أنها أكثر المحركات حاجة للصيانة و- المحركات الخاصة Special Motors

مثل Solid Rotor, Reluctance, Hysteresis. وهى محركات مازالت تحت التطوير وإستخدامها مازال على نطاق ضيق جداً في القدرات الصغيرة. وأهم مزاياها.. بساطة التركيب ونسبة حاجتها للصيانة. أما المحركات الخاصة من نوع Servo, Stepper Motors فهى محركات أقل من واحد حصان وتستخدم في وسائل التحكم المختلفة.

#### مقارنة بين خواص المحركات المختلفة:

يوضح الشكل رقم (١) مقارنة بين خاصية عزم المحرك خلال فترة البدء لأكثر المحركات شيوعاً وهى: محركات التيار المستمر التوازنى والمركب - المحركات التائرية ثلاثية الأوجه - المحركات العامة - المحركات التزامنية. وفي هذا الشكل افترضنا قدرة خرج واحدة للأنواع الأربعة مقدارها ٥ حصان.. وكانت السرعة - الأكثر شيوعاً - حول ١٥٠٠ لفة/ دقيقة.. عدا المحرك العام الذى تكون سرعته عالية (٥٠٠٠ لفة/ دقيقة) ويكون عزم الحمل الكامل للمحركات ١٥٠٠ لفة/ دقيقة - حول ٢٤ نيوتن متر.. وعزم العمل الكامل للمحرك العام ٧٠٢ نيوتن متر.

وفي هذا الشكل.. نجد أن عزم البدء لمحرك التيار المستمر هو الأكبر (١٢٠ نيوتن متر) .. يليه المحرك التائري ثلاثى الأوجه (٦٠ نيوتن متر) ثم المحرك العام (٤٥ نيوتن متر) .. وأقلها المحرك التزامنى (٦ نيوتن متر) ..





المحرك رقم (٢) على الرغم من أن المحرك رقم (٢) عزم بدئه ٥٠٠ كجم سم. أعلى من المحرك رقم (٤) والذي يبلغ ٣٠ كجم سم - وذلك لتأثير الكثف وزيادة العزم وزيادة نسبة Torque/Ampere. ورغم هذا العيب الكبير (تيار البدء العالي) للمحرك رقم (٤) والذي يجعله لا يتحمل تكرار البدء في زمن محدود - وكثيراً ما تحترق ملفات البدء فيه - إلا أن المصانع تنتجه بعدل كبير وذلك لقلة تكاليف تصنيعه عن الأنواع الأخرى من هذه المجموعة من المحركات.

ويلاحظ أن تيار المحرك رقم (٤) وتيار المحرك رقم (٧) يكونان متساويين عند الحمل الكامل لأن أياً منهما يتم فصل ملفات البدء له عند سرعته العالية ويعمل فقط على ملفات الدوران ولهذا فإن منحنىات هذين المحركين تشترط مع منحنى المحرك رقم (٨) في الشكلين رقمي (٤) (٥) في السرعات العالية بعد فصل ملفات البدء. وكذلك المحرك رقم (٣) - بعد فصل مكثف البدء (٢٠ ميكروفاراد) في السرعات العالية - فإن منحنىات التيار والعزم له تقع على نفس منحنىات التيار والعزم للمحرك رقم (٥) - شكلي رقم (٤)، (٥).

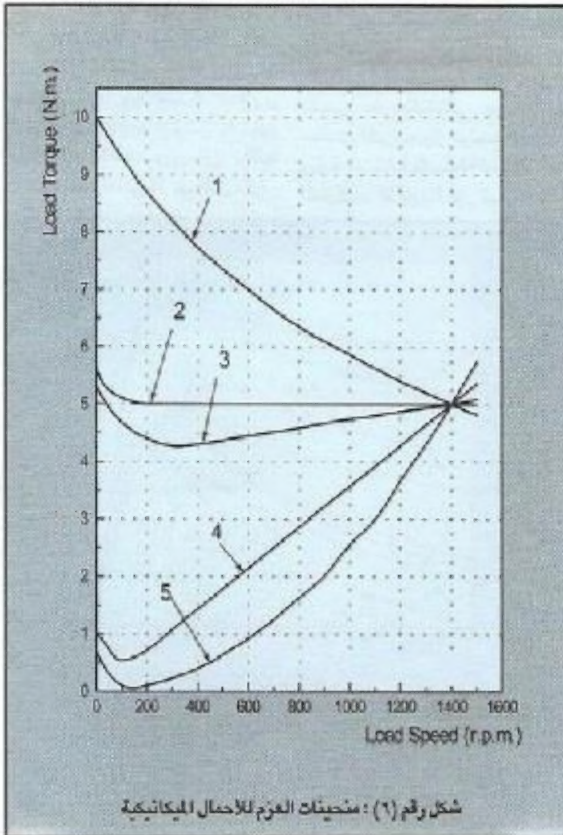
لغة / دقيقة.

كما يلاحظ أن المحرك رقم (٦) الذي يستخدم في الغسالات الأوتوماتيكية يكون تياره لحظة البدء أقل تياراً وتبقى قيمته ثابتة تقريباً مع زيادة السرعة لكي يتحمل تكرار البدء. ويلاحظ أن هذا المحرك لا تحترق ملفات إذا كان الحمل كبيراً وظل ساكناً... أو تم إيقافه بآلية وسيلة مع توصيله إلى المصدر الكهربى. ويرجع ذلك إلى هذا الشكل للتيار الذي يكون ثابتاً تقريباً مع تغير السرعة عندما تكون الغسالة تعمل في برامج الغسيل... أما إذا كانت الغسالة تعمل في برنامج العصر Spinning فإن ملفات المحرك في هذه الحالة - والتي تكون منفصلة عن ملفات حالة الغسيل - تكون بنفس خواص المحرك رقم (٥) "Capacitor Run" وهي لا تتحمل بقاء المحرك ساكناً إلا لفترة البدء الصغيرة المعتادة... لأن البدء (٧.٥ أمبير) يكون أعلى من تيار الحمل الكامل المصممة عليه هذه الملفات = ٢.٥ أمبير - ويكون تيار البدء = ١٣.٥ أمبير - أعلى في المحرك رقم (٣) ويليه المحرك رقم (٤) = ١٤ أمبير - ثم المحرك رقم (٨) = ١٥.٢ أمبير - ثم المحرك رقم (٢) = ١٦ أمبير. أما المحرك رقم (٤) فيستحق الشكر لأنه يأخذ أكبر تيار بدئه ٣٢ أمبير... يصل إلى ضعف تيار

المحرك تكسون مقسمة إلى ثلاث مجموعات بنفس تقسيم ملفات المحركات ثلاثية الأوجه.. لذلك يطلق على هذا المحرك "3 - Phase Wind - Single Phase Motor" أما المحرك رقم (٧) "Shaded Pole" فهو أقل المحركات في عزم البدء حيث يكون في حدود (١٢.٥ كجم سم ويمثل المنحنى رقم (٨) عزم المحرك عندما تكون ملفات بدء الدوران مقصولة وملفات الدوران فقط هي الموصلة بالمصدر حيث يكون عزم بدء الدوران للمحرك صغراً ولا يستطيع المحرك أن يبدأ دورانه.

يوضح الجدول رقم (١) نسبة عزم بدء الدوران إلى عزم الحمل الكامل للأنواع المختلفة من محركات الوجه الواحد ويمكن ملاحظة المزيد من الفروق الجوهرية بين الأنواع المختلفة للمحركات التأثيرية ذات الوجه الواحد مقارنة بالمحرك القاطري ثلاثى الأوجه في الشكل رقم (٥) السدى بين تغير التيار مع تغير السرعة خلال فترة بدء الدوران Run Up. وفي هذا الشكل نجد أن المحرك التأثيرى ذا الثلاثة أوجه يكون تياره منخفضاً خلال فترة البدء كما يكون تياره أقل تيار (١.٢ أمبير) عند الحمل الكامل (عند سرعة ١٤٠٠

المنحنى رقم (٢) ويعطى عزم بدء (٥٠ كجم سم) ويستخدم فيه مكثف في حدود ٤٥ ميكروفاراد. أما المحرك "Capacitor Start - Capacitor Run" فهو يعطى عزم بدء (٢٧.٥ كجم سم) كما في المنحنى رقم (٣) ويستخدم فيه مكثفان أحدهما ١٢ ميكروفاراد دائم التوصيل والثاني ٢٠ ميكروفاراد ويوصل عند البدء فقط. أما المحرك رقم (٤) فهو من نوع "Split Phase" وعزم البدء له في حدود (٢٠ كجم سم) والمحرك رقم (٥) من نوع "Capacitor Run" ويعطى عزم بدء في حدود (١٥ كجم سم) ويستخدم فيه مكثف ١٢ ميكروفاراد موصل باستمرار... والمحرك رقم (٦) من الأنواع الحديثة ويستخدم في الغسالات الأوتوماتيكية ويتميز بتحملة لتكرار عمليات البدء Multy Starting. عزم بدء الدوران له يكون منخفضاً عن الأنواع الخمسة السابقة.. ولكن هذه النسبة الصغيرة للعزم تكون مناسبة للحمل لأن المحرك تكون سرعته منخفضة (نحو ٥٠٠ أو ٣٧٥ لغة/دقيقة) وبالتالي تكون العزم عالية مع هذه السرعة المنخفضة. وملفات هذا



أيساكو ESACO

**AEG**  
Switchgears & Control

الوكيل الوحيد لشركة

**FRAKO**

لمكثفات وأجهزة تحسين معامل القدرة

١٦ ش شمس الدين الذهبى - الجولف - م. الجديدة  
ت: ٤١٧١٥٤١ - ٤١٧٢٥٧٤ - ٢٩٠٨٥٢٥ - فاكس: ٤١٧٣٠١٣





## النور للهندسة والتجارة

٣٣ ش السبع بنسات - المنشية - الإسكندرية  
ت و فاكس : ٠٣ / ٤٨٤٥٧٥٤

### جدول رقم (١): نسبة عزم البدء إلى عزم الحمل الكامل

Motor Type	Starting/ Full Load Torque
Split Phase	1.2
Capacitor Start - Capacitor Run	1.5
Shaded Pole	0.4
3 Phase Motor	2.4
Capacitor Start	2
Capacitor Run	0.6
3 Phase Winding - Single Phase Motor	0.5

### جدول رقم (٢): نسبة تيار البدء إلى تيار الحمل الكامل

Motor Type	Starting/ Full Load Current
Split Phase	7.1
Capacitor Start - Capacitor Run	5
Shaded Pole	4.35
3 Phase Motor	3.6
Capacitor Start	3.55
Capacitor Run	3
3 Phase Winding - Single Phase Motor	1.12

السرعة وبعد ثبات السرعة وكلما مر الوقت يزداد الضغط وبالتالي يزداد العزم مع الزمن. ولهذا فإن فصل المحرك الكهربى في هذه الحالات ثم إعادة تشغيله يجعل المحرك غير قادر على البدء والدوران ويجب خفض الضغط في خزان الهواء أو الانتظار قليلاً في حالة أجهزة التكييف والثلاجات حتى ينساب غاز الفريون إلى مواسير الضغط المنخفض.

ويلاحظ أن هذه الظاهرة تحدث إذا تم فصل أى جهاز تكييف أو ثلاجة إذا كان المحرك دائراً وتم إعادة تشغيله بعد وقت قصير. وكذلك إذا استخدمت أجهزة مثبتات الجهد ذات المرحل Re- lay Type Stabilizers. وعندما لا يستطيع المحرك الدوران فإن تياره يكون عالياً ومساوياً لتيار البدء ولا يتحملة المحرك. ويقوم جهاز حماية المحرك Over Load بفصل المحرك. ولكن تكرار هذه العملية يؤدى إلى تدمير عوازل المحرك وضعفها واحترق المحرك. وتتم نفس المشكلة لأجهزة التكييف والثلاجات إذا استخدم مواد احتياطية يعمل أوتوماتيكياً عند انقطاع التيار ويكون مضروباً بحيث يشغل الأحمال بعد زمن قليل من انقطاع التيار. ويجب أن يضبط الزمن لإعادة توصيل التيار بحيث يكون كافياً على الأقل ١٥ دقيقة. حتى تضمن سلامة مثل هذه المعدات.

### ٦. متحنيات الأداء للمحمل الميكانيكى

يعتبر العزم مع السرعة للحمل الميكانيكى عاملاً أساسياً في اختيار المحرك المناسب لهذا الحمل. فإذا كان الحمل يحتاج إلى عزم عال عند البدء، فإن المحرك يجب أن يكون ذا عزم بدء عال. أما إذا كان عزم المحرك أقل من عزم الحمل عند البدء فلن يتمكن المحرك من الدوران وسوف يبقى ساكناً. أما السرعة التى يدور بها المحرك مع الحمل بصورة مستقرة. فهى السرعة التى يكون عندها عزم المحرك مساوياً لعزم الحمل. التى عندها يتقاطع منحنى عزم المحرك ومنحنى عزم الحمل.

يوضح الشكل رقم (١) متحنيات أنواع مختلفة من الحمل الميكانيكى وكذلك قيمة العزم اللازم للحمل عند كل سرعة. وللمقارنة. تم اختيار قيمة لعزم الحمل مقدارها (٥ نيوتن متر) وهى نفس القيمة للأنواع المختلفة عند سرعة الدوران المستقرة (١٤٠٠ لفة / دقيقة). يمثل المنحنى رقم (١) الحمل الذى يحتاج لأكبر عزم بدء وأكبر عزوم في السرعات المنخفضة. وكلما زادت السرعة نقص العزم الذى يحتاجه الحمل. ونجد أن العزم يتناسب عكسياً مع السرعة. أى تكون قدرة الحمل ثابتة مع تغير السرعة. وهذا النوع من الأحمال مثل المضارب والآلات قطع المعادن وماكينات التفرير وماكينات البثق. وماكينات لف الرقائق. ويمثل المنحنى رقم (٢) الحمل الذى يكون عزمه ثابتاً مهما تغيرت السرعة مثل الروافع والأوتاش والمساعد وسيور النقل وماكينات البثق والطلببات ذات المكبس. أما المنحنى رقم (٣) فهو يمثل حمل الجير مثل الترام والمترو ووسائل النقل. ويمثل المنحنى رقم (٤) حملاً يزيد عزمه بزيادة السرعة زيادة خطية وهو يمثل المولدات الكهربائية ذات التغذية الخارجية. أما المنحنى رقم (٥) فيمثل حملاً يتزايد عزمه مع مربع السرعة. وهو حمل مشهور باسم Fan Load ويمثل المراوح الهوائية بأنواعها وظلميات الطرد المركزى والسفن. وهذه المنحنيات يمكن القياس عليها واستنتاج شكل منحنى أى نوع آخر من الأحمال لتصديق المحرك الكهربى المناسب لتشغيلها.

ويلاحظ أن بعض أنواع الأحمال الميكانيكية تتغير فيها قيمة العزم ليس بتغير السرعة فقط. ولكن أيضاً يتغير العزم مع مرور الوقت منذ بدء تشغيل الحمل. مثل ضواغط الهواء ذات المكبس مع خزان الهواء. وكذلك أجهزة التكييف والثلاجات الكهربائية حيث يظل عزم الحمل عند البدء ثابتاً مع زيادة



# التعرف على المحركات مجهولة البيانات

د. فتحي عبد القادر  
أستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شبن الكوم

التوصيل الصحيح.. يرجع إلى أن كل من الوجهين B و C تستتج بهما قوة دافعة كهربية EB و EC متساوية وفي اتجاه زمني ضد اتجاه جهد المذبذب VA كما هو مبين بالرسم الاتجاها في الشكل رقم (١) - وتكون قراءة «الفولتميتر» هي الفرق بين EB و EC وتساوي «صفر».

أما التوصيل المين في الشكل رقم (٢) فيجعل قراءة «الفولتميتر» هي مجموع EB و EC ويقترب من قيمة VA كما هو مبين بالرسم الاتجاها في الشكل رقم (٢). ويمكن القول بأن توصيل الوجهين B و C بالطريقة الميمنة في الشكل رقم (١) يجعلهما يمثلان ملفاً متعامداً في الفراغ على الوجه A. ولهذا تكون القوة الدافعة الكهربية المستنتجة به «صفر». أما التوصيل المين في الشكل رقم (٢) فإنه يجعل الوجهين B و C يمثلان ملفاً في نفس اتجاه الوجه A في الفراغ. فتكون القوة الدافعة الكهربية به تساوي تقريباً قيمة VA.

## ٢. التعرف على

### جهد التشغيل Rated Voltage

للتعرف على الجهد الذي يجب أن يعمل عليه المحرك التآثري ثلاثي الأوجه.. نأخذ أولاً المحرك من النوع ذي العضو الدائر المغنطوف Wound Rotor.. ونفصل أطراف العضو الدائر ليكون مفتوحاً Open Circuit.. ثم نوصل العضو الثابت - سواء كانت ملفاته «دلتا» أو «نجمة» - إلى محول



تيار متغير ذي جهد حوالي ١٠٪ من جهد الوجه للمحرك بعد أن يوصل أي من طرفي الوجه B إلى أي من طرفي الوجه C. ونوصل جهاز «فولتميتر» بين الطرفين الباقي من الوجه B والطرف الباقي من الوجه C. فإذا قرأ جهاز «الفولتميتر» جهداً صغيراً جداً - حوالي الصفر - كان توصيل الوجه B مع الوجه C صحيحاً.. ويكون هذا التوصيل كما في الشكل رقم (١). أما إذا قرأ جهاز «الفولتميتر» جهداً يقترب من جهد الوجه A.. كان التوصيل خطأ ويعبر عنه الشكل رقم (٢) حيث يجب تبديل طرفي الوجه B أو C. ويتكرر هذه التجربة مع تغذية الوجه B من المذبذب وتوصيل الوجه C مع الوجه A مع «الفولتميتر» نتعرف على الأطراف المتشابهة للثلاثة أوجه. ونلاحظ أن السبب في قراءة «الفولتميتر» لقيمة «صفر» في حالة

عندما نجد محركاً كهربائياً لا توجد عليه أية بيانات.. أو نريد أن نتأكد من أن البيانات الموجودة على محرك ما هي بيانات صحيحة.. فإننا نحتاج إلى أن نتعرف على نوعية هذا المحرك وأطراف توصيله والجهد المناسب لتشغيله وتيار الحمل الكامل وقدره الدخل والخرج والكفاءة والسرعة ومعامل القدرة عند الحمل الكامل ورتبة المواد العازلة ودرجة الحماية.

وسوف نتناول التعرف على المحركات ثلاثية الأوجه من النوع التآثري Three Phase Induction Motors... كما يلي:

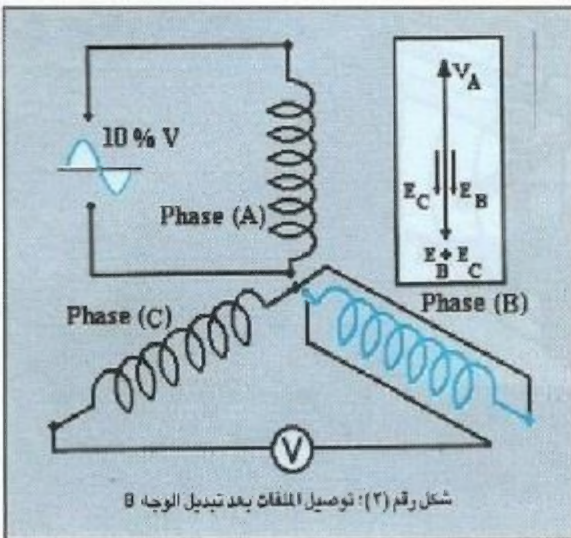
## ١. التعرف على

### أطراف توصيل المحرك

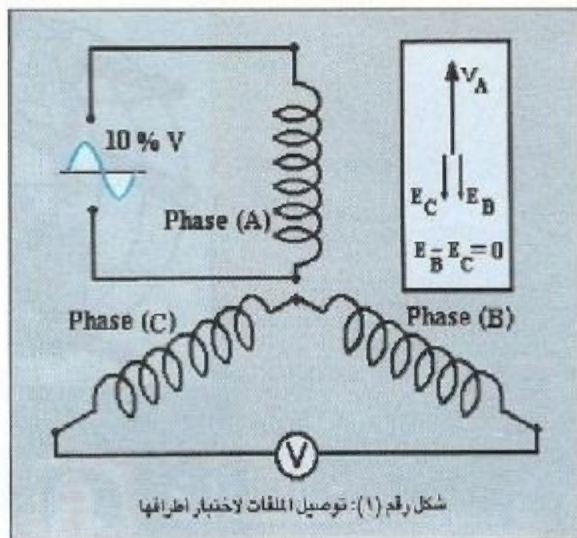
إذا كانت «ورقة» توصيل أطراف المحرك المعتادة غير موجودة.. أو تم إعادة لف المحرك وحدث شك في أن بدايات ونهايات ملفات الثلاثة أوجه موصلة بطريقة خطأ.. فإننا نستطيع التعرف على بدايات ونهايات ملفات الثلاثة أوجه حيث نبدأ بالتعرف على طرق كل وجه باستخدام جهاز «أوميتر» أو «أفوميتر» أو لية اختبار أو أية طريقة أخرى.. وهذا يصبح لدينا ستة أطراف كل اثنين منها يمثلان أحد الأوجه. ولكن هذا لا يكفي.. إذ يجب تحديد بداية ونهاية كل وجه لأن المحرك إذا كان سيوصل «نجمة» Star مثلاً فإن بدايات الأوجه الثلاثة توصل مع بعضها.. بينما توصل نهايات الأوجه بالمذبذب. ولا يجب أن يوصل

بالمذبذب نهاية وجهين وبداية الوجه الثالث مثلاً.. وإنما يجب أن يوصل بالمذبذب نهايات أو بدايات ثلاثة حتى ينشأ مجال مغناطيسي دائري منتظم Circular Rotating Field. وإذا كان المحرك سيوصل «دلتا» Delta فيجب أيضاً أن نتقيد في التوصيل بالبدايات والنهايات. ونلاحظ أن تغيير بدايات الأوجه أو نهاياتها هو تغيير يمكننا من تعريف الأطراف الثلاثة المتناظرة والتي تؤدي إلى توزيع الملفات بحيث يكون بينها زاوية ١٢٠° في الفراغ. ويمكن أن نسمى ثلاثة أطراف البدايات أطراف نهايات أو العكس. ولكن إذا تمت تسمية بداية وجه ما فإنه يجب أن نحدد بداية الوجه الثاني والثالث بناءً على هذه التسمية.

ولعرفة الأطراف المتشابهة للأوجه - بدايات ونهايات - نقوم بتوصيل طرفي أحد الأوجه ولكن الوجه A إلى مذبذب

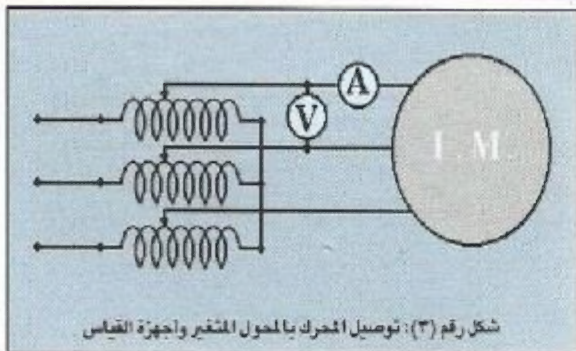


شكل رقم (٢): توصيل الملفات بعد تبديل الوجه B



شكل رقم (١): توصيل الملفات لاختبار أطرافها





Neutral. وفي جميع الحالات تضرب قراءة «الواتميتر» في ثلاثة للحصول على قدرة الدخل الكلية.

وبالاحاطة أن جهد المنبع في أي حالة يكون هو الجهد الذي سبق التعرف عليه في البند السابق. وقبل توصيل المحرك بالمنبع نقيس المقاومة بين أي طرفين من أطراف المحرك التي ستوصل للمنبع وتكون هي 88Ω عند درجة حرارة الوسط 68°. ثم نقوم بتشغيل المحرك وهو بدون حمل ونسجل قراءة «الواتميتر» ونضربها في ثلاثة لتكون القدرة عند اللاحمل PO. ونسجل قراءة «الأمبيروميتر» ونحدد منها قيمة تيار اللاحمل ليكون 15. ثم نقوم بتحميل المحرك بأى حمل لفترة بسيطة ثم نقيسه ونصله وعلى الفور نقيس المقاومة بين الطرفين والتي زادت من 88 إلى 80Ω. ونحسب ارتفاع درجة حرارة المحرك خلال فترة تشغيل الحمل هذه باستخدام العلاقة الرياضية الموضحة في صفحة ٢٧ بالعدد رقم ٥٢ «الكهرباء العربية». فإذا كانت درجة الحرارة قد ارتفعت بدرجة منخفضة دل ذلك على أن هذا الحمل منخفض. أما إذا كانت درجة الحرارة عالية دل ذلك على أن الحمل كبير. وهكذا. يمكن تحميل المحرك بحمل يجعل الزيادة في درجة الحرارة في حدود ٨° م عندما تكون المواد العازلة من النوع Class B وفي المستخدمة بكثرة في الوقت الحاضر في المحركات

### ٣- التعرف على بيانات الحمل الكامل

للتعرف على بيانات الحمل الكامل. نحتاج لقياس قدرة الدخل للمحرك. وسوف نستخدم جهاز «واتميتر» واحد - بدلاً من جهازين أو ثلاثة بالطرق التقليدية - وجهاز «فولتميتر» وجهاز «أمبيروميتر». ويستخدم «الواتميتر» لقياس قدرة الدخل ثلاثية الأوجه للمحرك. حيث يوصل لقياس قدرة الدخل لوجه واحد ونضرب قراءته في ثلاثة لنحصل على قدرة الدخل الكلية. ويتوقف توصيل «الواتميتر» بالمحرك على ما إذا كان موصلًا «نجمًا» أو «دلتا». فإذا كان المحرك موصلًا «نجمًا» فيوصل «الواتميتر» بحيث يمر في ملف تياره ثلثي وجه وليكن الوجه A. ويوصل ملف الجهد إلى جهد نفس الوجه A حيث يوصل أحد طرفي ملف الجهد بنفس الطرف الموصل لملف التيار والطرف الثاني إلى نقطة التعادل Neu. Rra للمحرك أو للمنبع ويوصل جهازا «الفولتميتر» و«الأمبيروميتر» - شكل رقم (٥). أما إذا كان المحرك موصلًا «دلتا» فيوجب فتح أحد أوجه المحرك وتوصيل ملف التيار «للاتميتر» به وتوصيل ملف الجهد وجهاز «الفولتميتر» و«الأمبيروميتر» - شكل رقم (٦) - أو توصيل «الفولتميتر» والأجهزة - شكل رقم (٧) - سواء كان المحرك موصلًا «نجمًا» أو «دلتا» بشرط أن يحتوى المنبع على سلك تعادل

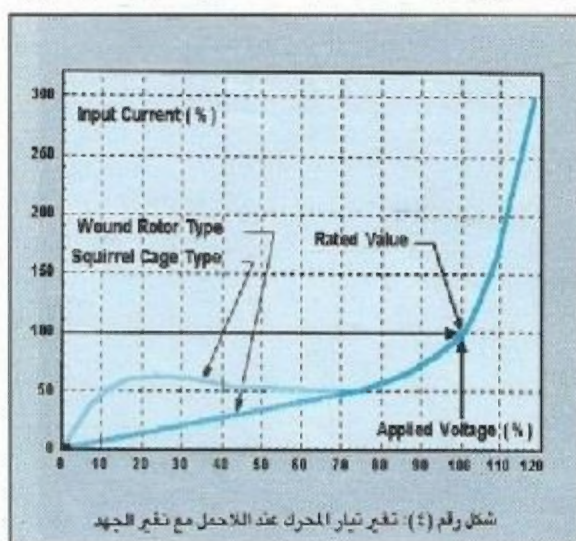
منخفض ويجب زيادته من البداية بمعدلات صغيرة حتى نحصل على شكل الركة للعلاقة بين التيار مع الجهد. وهكذا. تكون قد تعرفنا على الجهد المناسب لتشغيل المحرك وكذلك قيمة تيار اللاحمل.

ونلاحظ أن نفس التجربة ونفس النتائج يمكن إجراؤها للمحولات ذات الثلاثة أوجه أو ذات الوجه الواحد. حيث نجعل المحصول بدون حمل ونحصل على الجهد المناسب لتشغيله ونعرف أيضًا على تيار اللاحمل.

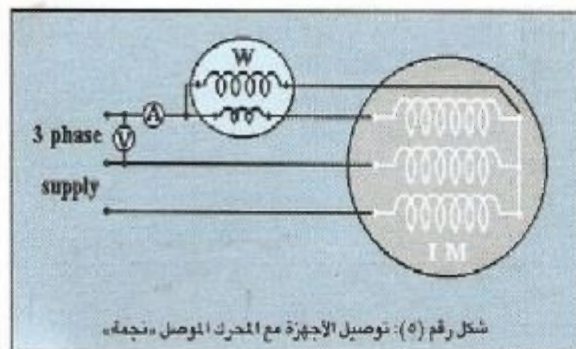
أما المحرك التآثيري ثلاثي الأوجه من نوع قفص السنجاب Squirrel Cage فإنه لا نستطيع فصل الدائرة الكهربائية للعضو الدائر ونقوم بتوصيل العضو الثابت بنفس الأسلوب إلى «المحول المتغير». ولكن نلاحظ أن المحرك سوف يدور. ولا يجب أخذ قراءات «الأمبيروميتر» و«الفولتميتر» إلا عندما تصل سرعة المحرك إلى أصل قيمة ممكنة ثم نزيد الجهد عن ذلك قليلاً ونبدأ في تسجيل قراءات الأجهزة بداية من الجهد العالي ثم نخفض الجهد بالتدريج ونسجل القراءات هبوطاً بالجهد. وليس صعباً حتى تبقى السرعة ثابتة تقريباً. وفي هذه الحالة تختلف العلاقة بين التيار والجهد عن حالة المحرك ذي العضو الدائر الملفوف حيث نجد أن التيار في منطقة الجهود المنخفضة يكون عالياً بسبب انخفاض السرعة ثم ينخفض بزيادة الجهد ويدخل في منطقة الجزء المنحني الدالة على تشبع الحديد ثم منطقة الخط المستقيم الدالة على تمام التشبع. ومن هذا الشكل للعلاقة بين التيار والجهد. نستطيع تحديد الجهد المناسب لتشغيل المحرك حيث يكون في حوالى منتصف منطقة الجزء المنحني - شكل رقم (٤).

متغير ثلاثي الأوجه Three Phase Variac مع توصيل «فولتميتر» و«أمبيروميتر» في الخط للمحرك كما في الشكل رقم (٣). ثم نبدأ بجهد الجهد المسلط على المحرك صغيراً ونسجل قراءات «الأمبيروميتر» و«الفولتميتر». ثم نزيد الجهد عدة مرات بالتدريج وفي كل مرة نسجل قراءات «الأمبيروميتر» و«الفولتميتر». ونلاحظ أن المحرك لن يدور ويعتبر عند اللاحمل. ومن هذه النتائج نرسم العلاقة بين التيار والجهد والذي يجب أن يأخذ الشكل رقم (٤). ونجد أن التيار يزداد خطياً بزيادة الجهد عند الجهود المنخفضة ثم يزداد بمعدل أكبر وبشكل منحني في الجهود الأعلى وذلك لتشبع الحديد في المحرك. أما زيادة الجهد أعلى من ذلك فتؤدي إلى زيادة التيار بمعدل كبير جداً الأمر الذي يمثل خطورة على المحرك إذا استمر زمناً طويلاً ويأخذ شكلاً خطياً لتمام تشبع الحديد. ويمثل شكل هذه العلاقة جزأين مستقيمين بينهما جزء منحني - أى يمثل ركة Knee - ويكون الجهد المناسب للتشغيل هو الجهد المقابل لمنتصف الركة أو أعلى منه قليلاً حسب درجة تبريد المحرك وذلك كما في الشكل رقم (٤).

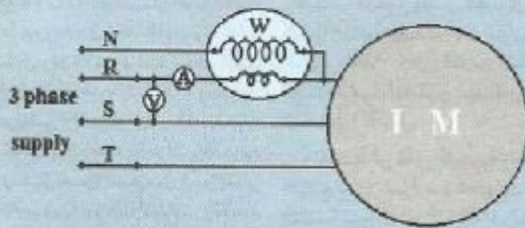
وبالاحاطة أنه إذا تم زيادة الجهد بالتدريج حتى أعلى قيمة ممكنة من المحصول المتغير Variac وكانت علاقة التيار مع الجهد خطية وليس بها جزء منحني في النهاية. فإن هذا يعنى أن جهد تشغيل المحرك أكبر من أعلى قيمة حصلنا عليها من المحصول المتغير Variac ويجب استخدام جهد أعلى من ذلك في هذه التجربة. أما إذا زاد التيار وبمعدل كبير في الجهود المنخفضة. فإن هذا يعنى أن جهد تشغيل المحرك



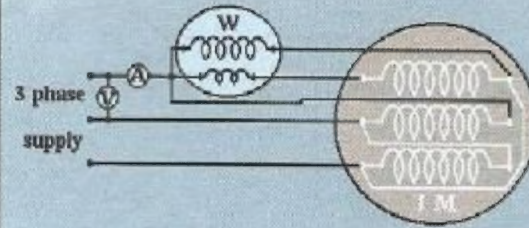
شكل رقم (٤): تغير تيار المحرك عند اللاحمل مع تغير الجهد







شكل رقم (٧): توصيل الأجهزة مع المحرك الموصل «نجم» أو «ثلاثا»



شكل رقم (٦): توصيل الأجهزة مع المحرك الموصل «ثلاثا»

الكامل هي:  $\eta = P_{out} / P_{in}$

أما معامل القدرة عند الحمل الكامل فيكون:  $pf = P_{in} / 3VI$

وأخيراً، فإنه يمكن التعرف على درجة الحماية للمحرك من شكل جسم المحرك من حيث أحشائه على فتحات تهوية ومواقع وحجم هذه الفتحات..

وما إذا كان مغلفاً تماماً بدون جوانب أو به جوانب كاشطة حول حدود الدوران وصندوق الأطراف لمنع تعرب المياه أو الغبار الدقيق إلى داخل المحرك.. من شكل هذا الجسم يمكن التعرف على درجة حماية المحرك (IP) وذلك وفقاً لما جاء بالدراسة السابقة في العدد رقم ٥٢ «الكهرباء العربية».

وسرعة المحرك  $n$  وكذلك مقاومة الوجه  $R$ .

ومن نتائج القياس عند الأحمال.. يمكن حساب مفاتيح الحديد  $P_i$  حيث:  $P_i = P_{in} - 3I^2R$  وتكون القدرة الكهربائية في الثغرة الهوائية  $P_g$ :

$P_g = P_{in} - P_i - 3I^2R$  ومن ثم يكون عزم المحرك عند الحمل الكامل  $T$ :

$T = 60 P_g / (2\pi n)$  حيث  $n$  هي سرعة الزاكن.

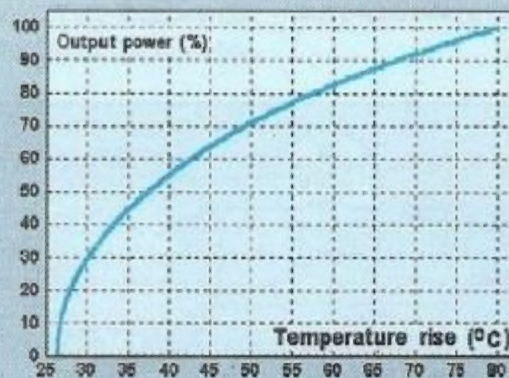
وتكون قدرة الخرج للمحرك عند الحمل الكامل:  $P_{out} = 2\pi Tn/60$  وتكون كفاءة المحرك  $\eta$  عند الحمل

وهكذا، بزيادة الحمل تدريجياً حتى تصل درجة الحرارة إلى أقصى قيمة تتحملها المواد العازلة.. يمكن معرفة قيمة العمل الكامل. أما إذا كانت الإنكاسيات لا تسمح بتقييم الحمل على المحرك بسهولة وتم تحميل المحرك بحمل ثابت القيمة ووصلت درجة حرارته مع هذا الحمل إلى أقل من أقصى درجة حرارة يمكن أن تتحملها المواد العازلة، فإنه يمكن معرفة قيمة العمل الكامل لهذا المحرك من الشكل رقم (٨) والذي تم استنتاجه نظرياً وعملياً خصيصاً لهذا المقال. ونجد أن المحرك إذا كان يعمل بدون حمل فإن حرارته تزداد بحوالي ٢٦°م وإذا كان محملاً بحيث تصل الزيادة في درجة الحرارة إلى ٥٠°م - كمثال - فإن ذلك يعني أن هذا العمل يناظر ٧٢٪ من قيمة العمل الكامل وبالتالي يمكن التعرف على قيمة العمل الكامل لهذا المحرك عندما تكون المواد العازلة من نوع Class B حيث تكون أقصى زيادة مسموحة في درجة الحرارة ٨٠°م وذلك من الشكل رقم (٨). وعندما يتم تحميل المحرك بالعمل الكامل حيث ترتفع درجة الحرارة إلى أقصى قيمة أمثلة فإنه يمكن من قراءات أجهزة القياس معرفة قدرة الدخل عند الحمل الكامل  $P_{in}$  وتيار الوجه للمحرك  $I$  ووجد الوجه  $V$

الصغيرة والمتوسطة القدرة. أما المحركات كبيرة القدرة أو المحركات ذات الاستخدام الخاص فتستخدم فيها مواد عازلة تتحمل أكثر من ذلك كما هو مبين في العدد رقم ٥٢.

ويلاحظ أنه يمكن الاستدلال على نوع المواد العازلة عندما ترتفع درجة حرارة المحرك وتظهر رائحة العازل حيث يدل ذلك على أن درجة الحرارة هذه والتي يمكن قياسها هي أعلى قليلاً من أقصى درجة حرارة تتحملها هذه المواد العازلة. ولا يجب أن تظهر هذه الرائحة بدرجة قوية أو لفترة طويلة لأن هذا يعني إحداث إجهادات على المواد العازلة تؤدي إلى إضعافها خصوصاً في اختبارات قياس العزل باستخدام الجهد العالي.

كما يجب ملاحظة أن أقصى درجة حرارة يصل إليها المحرك تكون بعد فترة تشغيل بالحمل لمدة لا تقل عن ساعة للمحركات الأقل من واحد حصان. أما المحركات الأكبر من ذلك فيجب أن يستمر زمن اختبار درجة الحرارة أكثر من ساعة حسب قدرة المحرك. ويحدد هذا الزمن ثبات درجة الحرارة تقريباً مع مرور الوقت.



شكل رقم (٨): تغير زيادة درجة حرارة المحرك مع تغير قدرة الحمل

## كريمة للصناعات الهندسية

م. نروت كريمة وشركاه،

حوامل كابلات من الصاج المجلفن

سمك ١ - ١.٢٥ - ١.٥ مم

عرض ٢٥ - ٧٠٠ مم

المصنع: برج العرب الجديدة - المنطقة الصناعية - ت: ٥٩٠٧٦٩

الإسكندرية: ت: ١٣٣٠٩٠ - ٥٩٦٦٤٧٧ - فاكس: ٥٩٦٦٤٧٧

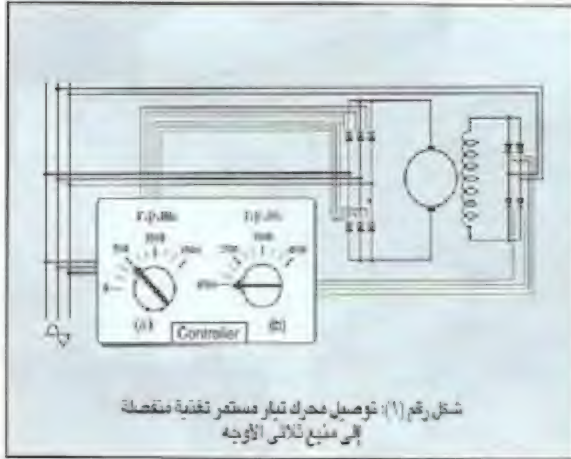


# التحكم في سرعة المحركات الكهربائية

## ١ - محركات التيار المستمر

د. فتحي عبد القادر

أستاذ الآلات الكهربائية، هندسة شيبين الكوم



شكل رقم (١): توصيل محرك تيار مستمر تقنية متصلة إلى منبع ثلاثي الأوجه

الكامل.. كما يظهر الأثر الضار للترافقيات Harmonics على كل من المحرك والشبكة الكهربائية. وللتحكم في سرعة محركات التيار المستمر خلال المدى الواسع لتغير السرعة.. تستخدم الطرق الحديثة قطرة توحيد محكومة "بالثايرستور" في دائرة المجال وقسرة أخرى في دائرة عضو الاستنتاج Amature حيث إن المنبع المشاح يكون عادة منبع تيار متردد ويكون المحرك في هذه الحالة من نوع التغذية المتصلة Separate Excited ويحدث يتم التحكم في أي من تيار المجال أو جهد عضو الاستنتاج.. ويمكن استعمال ملفات مجال بالتوالي مع عضو الاستنتاج كمحرك مركب Compound Motor بشرط أن يكون مجالها معاكساً للمجال الرئيسي للأقطاب Differential Compound حتى تساعد في جعل سرعة المحرك

تزيدا المفاقيده مما يضطرنا لإنقاص قيمة قدرة الحمل الكامل للمحرك  $P_{ow}$  or Derating.

٧ - أقل قيمة ممكنة للقدرة المستهلكة في وسيلة التحكم في السرعة.  
٨ - أقل قيمة ممكنة لثمن وسيلة التحكم في السرعة.  
٩ - أقل قيمة ممكنة لتكاليف الصيانة لوسيلة التحكم في السرعة.  
وهذه الشروط يجب دراستها بعناية عند اختيار نوع المحرك الكهربى ونوع وسيلة تغير السرعة التى تناسب الحمل الذى يحتاج إلى تغير السرعة وسوف نتناول أهم الطرق المستخدمة في تغير سرعة المحركات الكهربائية.

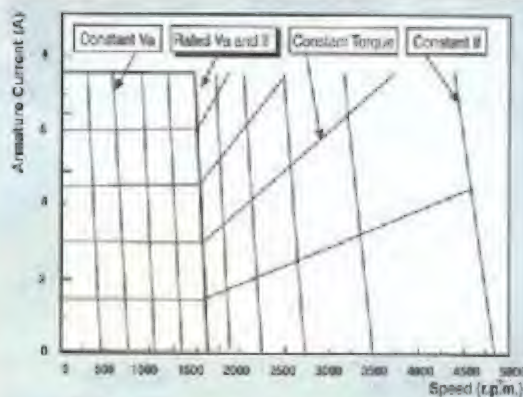
### ١ - محركات التيار المستمر

برغم وجود مشاكل عضو التوحيد Commutator وارتفاع ثمن محركات التيار المستمر عن محركات التيار المتردد.. إلا أن محركات التيار المستمر مازالت حتى الآن تفضل على محركات التيار المتردد عندما يحتاج الحمل إلى واسع في تغير السرعة لما تتميز به من رخص ثمن وسيلة التحكم في السرعة والمحافظة على خواص المحرك بحالتها الجيدة من عزم بدء عال وكفاءة عالية وقبسة صغيرة لمعدل تغير السرعة مع العزم وإمكانية تحميل المحرك بكامل قدرة الحمل الكامل.. وذلك على عكس ما يحدث مع محركات التيار المتردد حيث تكون وسيلة التحكم في السرعة عالية الثمن وتصل إلى اضعاف ثمن المحرك.. كما أن عزوم المحرك وكفاءته تنخفض ولا نستطيع تحميل المحرك بحمله

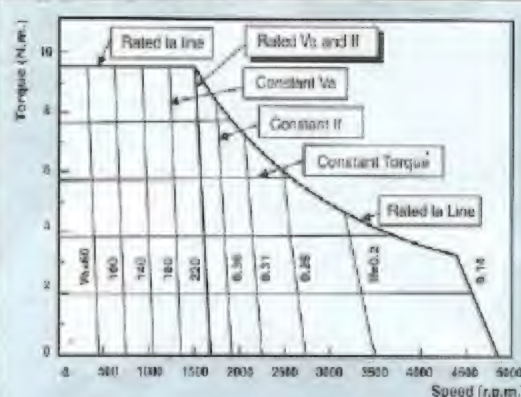
تستعمل المحركات الكهربائية لتعمل عند سرعة دوران معينة تسمى بالسرعة الفقتة Rated Speed.. إلا أن العديد من الأعمال الميكانيكية تحتاج للعمل عند سرعات متعددة.. تختلف قيمتها وبغدها والذى الذى يتغير فيه حسب طبيعة الحمل.. كما أن هناك أعمال تتطلب الاحتفاظ بالسرعة عند القيمة المضبوطة عليها دون أى تغير إذا تغير عزم الحمل.. وأعمال لا يغيرها تغير السرعة بعض الشيء.

وليس هناك فى محرك كهربى يستطيع تلبية احتياجات تغير سرعة الأعمال المختلفة إلا باستخدام وسيلة ما لتغير السرعة.. ولكن يتم التحكم في السرعة بطريقة شبه مشابهة يجب توفر الشروط التالية:

- ١ - اتساع مدى تغير السرعة.. مثلاً من ١٠٠ - ١٠٠٠ لفة / دقيقة.
- ٢ - التحكم في السرعة بخصاسية عالية.. كأن يكون المحرك يدور بسرعة ١١٠١ لفة / دقيقة بينما السرعة المطلوبة ١١٠٢ لفة / دقيقة.
- ٣ - احتفاظ السرعة بالقيمة المضبوطة عليها مهما تغير عزم الحمل.
- ٤ - بقاء معدل تغير سرعة المحرك مع العزم  $dN/dT$  بمائته الجيدة عند أقل قيمة ممكنة حتى يساعد في تحقيق الشرط السابق.. لأن بعض الطرق تزيد هذا المعدل مما يؤدي إلى تغير كبير في السرعة مع تغير عزم الحمل.
- ٥ - عدم إنقاص العزوم الطبيعية لبدا الحركة والعزم الأقصى للمحرك قبل استخدام وسيلة تغير السرعة.
- ٦ - عدم إنقاص كفاءة المحرك نتيجة

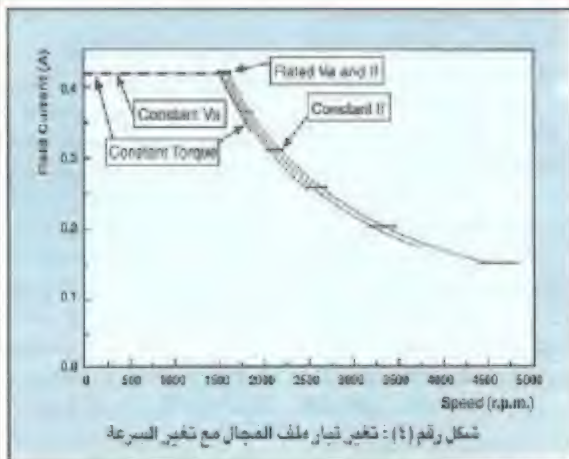


شكل رقم (٣): تغير تيار عضو الاستنتاج مع تغير السرعة



شكل رقم (٢): تغير عزوم المحرك والحمل مع تغير السرعة





شكل رقم (٤) : تغير تيار ملف المجال مع تغير السرعة

تصل إلى السرعة المقننة - حيث يكون  $V_a$  قد وصل إلى القيمة المقننة - ثم نترك المفتاح (a) عند هذا الوضع ونحرك المفتاح (b) لينقص  $I_a$ .. ونستمر السرعة في الزيادة ونعينا على جهاز "الأميتر" الذي يقيس  $I_a$  لأنه يختلف تبعاً للقيمة عزم الحمل.. ونستمر في زيادة السرعة إلى أن يصل  $I_a$  إلى القيمة المقننة.. ولا نستطيع زيادة السرعة عن ذلك لأن  $I_a$  سوف يزداد أكثر من القيمة المقننة.

والعودة بخفض السرعة.. يجب أن نبدأ بزيادة  $I_a$  من المفتاح (b) حتى يتناقص  $I_a$  لكي تنقص المقاومة وتحسن الكفاءة.. أما إذا بدأنا بإنقاص  $V_a$  فإن  $I_a$  سوف يبقى ثابتاً عند قيمته المرتفعة لثبوت العزم وثبوت  $I_a$ .. وللاستمرار في خفض السرعة يتم زيادة  $I_a$  حتى تصل إلى قيمتها المقننة ويكون المفتاح (b) قد وصل إلى بدايته ثم يترك عند هذا الوضع.. ويستخدم المفتاح (a) لإنقاص  $V_a$ .. ونلاحظ أنه إذا كان المحرك يعمل بسرعة عالية يحدث قطع للتيار الكهربائي من المنبع سواء كان القطع من خارج المنبع أو نتيجة

المخفضة تستطيع تحميل المحرك حتى قيمة عزم الحمل الكامل لأن  $I_a$  سوف يصل إلى قيمته المقننة.. وتسمى هذه المنطقة أحياناً بمنطقة العزم الثابت Constant Torque Region ليس لأن المحرك يعطي فيها عزمًا ثابتاً ولكن لأننا نستطيع تحميل المحرك فيها حتى قيمة عزم الحمل الكامل - وهي قيمة ثابتة - عند أية سرعة خلال هذه المنطقة.. أما منطقة السرعات المرتفعة فتسمى أحياناً بمنطقة القدرة الثابتة Constant Power Region لأننا نستطيع فيها تحميل المحرك حتى قيمة القدرة المقننة ولا نستطيع تحميله بقيمة عزم الحمل الكامل لأن نقص  $I_a$  يعوضه زيادة  $I_a$  عن القيمة المقننة.. وهو الأمر غير المرغوب لأن مغناطيس نحاس عضو الاستنتاج تزداد عما يحمله وترفع الحرارة أيضاً أكثر من القيمة التي يتحملها.

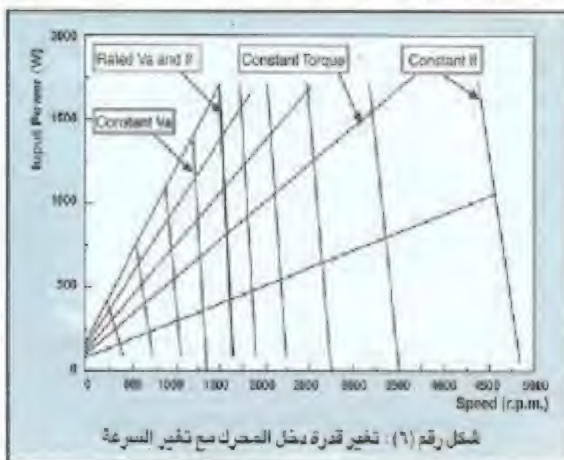
وإذا تصورنا حملاً ثابت العزم مع تغير السرعة - مثل الأوباش - فإن تشغيل المثالي بمنظم السرعة هذا يكون عند البدء بجعل المفتاح (b) في بدايته Rated  $I_a$  وأيضاً المفتاح (a) في بدايته حتى يعطي أقل جهد  $V_a$ .. ثم نحرك المفتاح (a) ليزيد  $V_a$  ونزيد السرعة حتى

كان المحرك عند الجهد المقنن لعضو الاستنتاج Rated  $V_a$  والتيار المقنن للمجال Rated  $I_a$  وكان محملاً بجملة الكامل.. كانت سرعته هي السرعة المقننة Rated Speed التي تدون على لوحة بيانات المحرك.. وإذا انخفض عزم الحمل عن هذه القيمة المقننة فإن السرعة تزداد قليلاً بشكل خط مستقيم - شكل رقم (٢) - وهذا هو الخط الأساسي لتغير السرعة مع تغير العزم على المحرك، ولكن يجعل المحرك يعمل بسرعة أقل من ذلك يجب خفض الجهد  $V_a$  لأن السرعة تتناسب طردياً مع  $V_a$  وعكسياً مع  $I_a$  وبالمثل - لا يمكن إنقاص السرعة عن القيمة المقننة بزيادة  $I_a$  بدلاً من إنقاص  $V_a$  لأن  $I_a$  كانت بأكبر قيمة مقننة لها عند الخط الأساسي.. وعند أية قيمة للجهد  $V_a$  نحصل على خط يوازي تقريباً الخط الأساسي.. وكلما انخفض  $V_a$  انخفضت السرعة.

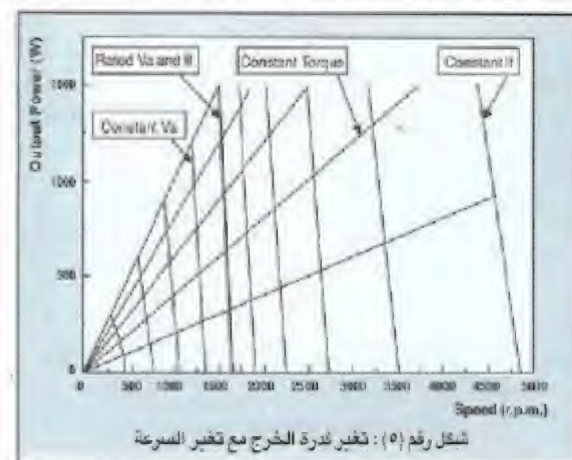
أما إذا كان المطلوب زيادة السرعة عن السرعة المقننة.. فإننا لا نستطيع زيادة  $V_a$  عن القيمة المقننة ولذلك يجب إنقاص  $I_a$ .. ولكل قيمة نحصل على خط كما في الشكل رقم (٢). ولذلك.. فإن وحدة التحكم في الشكل رقم (١) تشتمل على مفتاحين (a)، (b) - أحدهما (a) للسرعات المنخفضة الأقل من السرعة المقننة والثاني (b) للسرعات المرتفعة عن السرعة المقننة - كل منهما عبارة عن Potentiometer تخفي قيمة مقاومته فتؤدي إلى تغير زاوية إشعال "الثايرستور" وبالتالي تغير تيار المجال أو جهد عضو الاستنتاج.. وللعمل في السرعات المنخفضة يجب أن يكون مفتاح السرعات المرتفعة (b) في بدايته جاعلاً  $I_a$  بقيمتها المقننة.. أما إذا كان المفتاح (a) في وضع أعلى من البداية فإن تيار المجال  $I_a$  ينخفض وبالتالي يزداد  $I_a$  ليعوض  $I_a$  ولا نستطيع تحميل المحرك بعزم الحمل الكامل في هذا الوضع لأن  $I_a$  سوف يرتفع عن القيمة المقننة.. ونلاحظ أنه في منطقة السرعات

ملاشاة الحرارة التي تحدث على عضو التوحيد بسبب مشكلة Commutation

يوضح الشكل رقم (١) توصيل محرك تيار مستقر متغذية منفصلة من منبع ثلاثي الأوجه خلال قطرتي توحيد محكوسين "الثايرستور" بنظام الحلقة المفتوحة Open Loop حيث يمكن التحكم في تيار ملفات المجال  $I_a$  أو التحكم في جهد عضو الاستنتاج  $V_a$  والتحكم هنا يتم بالتحكم في زاوية إشعال "الثايرستور" في كل من القطرتين.. وهذه هي الطريقة الشائعة الاستخدام حالياً بعد أن كانت تستخدم قديماً مقاييسات بالتوالي مع كل من ملفات المجال وعضو الاستنتاج وكان لها عيوب كثيرة أهمها القدرة الكبيرة المستهلكة في الفواصلات وصعوبة التحكم الأتوماتيكي فيها وزيادة معدل تغير السرعة مع العزم.. كما يستخدم في الوقت الحاضر قطباً توحيد غير مكحوسين تتكونان من موحدة عادية تستخدم بعدها دوائر تقطيع Chopper للتحكم في تيار المجال وتيار عضو الاستنتاج لكي يتم التحكم في سرعة المحرك.. وفي الشكل رقم (١) استخدمت قطرة توحيد رباعية الموحدة مع دائرة المجال بينما استخدمت قطرة توحيد سداسية الموحدة مع دائرة عضو الاستنتاج لأن ممانعة دائرة المجال أكبر من ممانعة عضو الاستنتاج مما يساعد في تنعيم التيار Smoothing في دائرة المجال.. ولأن تيار عضو الاستنتاج يجب ألا يحتوي على أي مركبة للتيار المتردد حتى لا تزداد مشاكل التوحيد Commutation وتظهر الحرارة على عضو التوحيد.. وكذلك لأنه من المطلوب التحكم في جهد عضو الاستنتاج بدقة وحساسية عالية حتى يتم الحصول على مدى كبير لتغير السرعة بالدقة والحساسية العالية.. والتحكم في سرعة محرك التيار المستمر.. يلاحظ أنه إذا

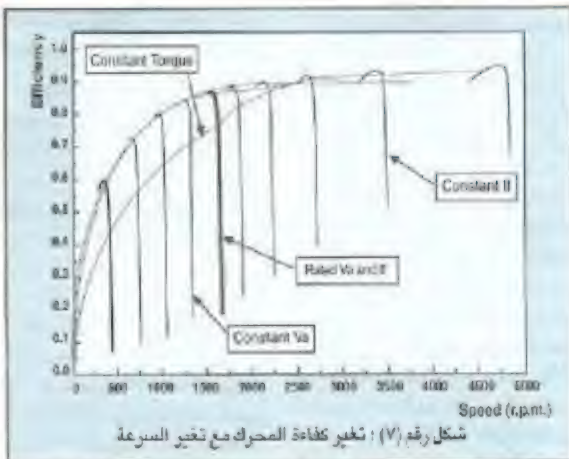


شكل رقم (٥) : تغير قدرة دخل المحرك مع تغير السرعة



شكل رقم (٦) : تغير قدرة الخرج مع تغير السرعة

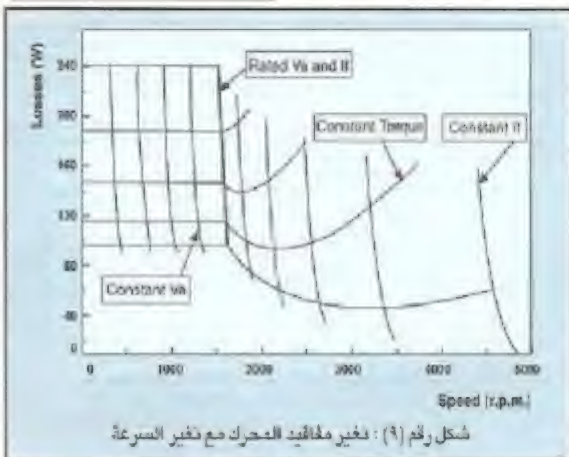




شكل رقم (٧): تغير كفاءة المحرك مع تغير السرعة

قيماً بعد. وبالنسبة لمحركات التيار المستمر ذات المغناطيس الدائم Permanent Magnet DC Motor فإنه يتم التحكم في سرعتها عن طريق تغيير جهد عضو الاستنتاج باستخدام نفس الأسلوب الموضح سابقاً ولكن بدون الجزء المستخدم مع تيار المجال II لأنه غير موجود. وبالتالي فإن السرعات سوف تتغير في منطقة السرعات المنخفضة فقط دون إمكانية للحصول على سرعات مرتفعة. ونقطة هنا إلى أن هذه المحركات ذات المغناطيس الدائم لا يجب استخدامها إطلاقاً مع القدرات المتوسطة والكبيرة لأن المغناطيس الدائم فيها يضعف بمرور الوقت نتيجة لارتفاع درجة حرارة المحرك المعادة ونتيجة للمجال المضطرب من عضو الاستنتاج أثناء التيارات العالية سواء في البدء أو في الفترات الانتقالية Transient Periods.

#### في العدد القادم طرق التحكم في سرعة محركات التيار المتردد



شكل رقم (٨): تغير عاكسية المحرك مع تغير السرعة

ويوضح الشكل رقم (٧) تغير التيار Ia عند تحميل المحرك بالأحمال ذات العزم الثابت. حيث نجد أن Ia ثابتة في منطقة السرعات المنخفضة لثبات Ia لأن العزم يتناسب طردياً مع كل من Ia و  $\omega$ . وفي السرعات العالية يزداد Ia وتتوقف قيمته على قيمة عزم الحمل.

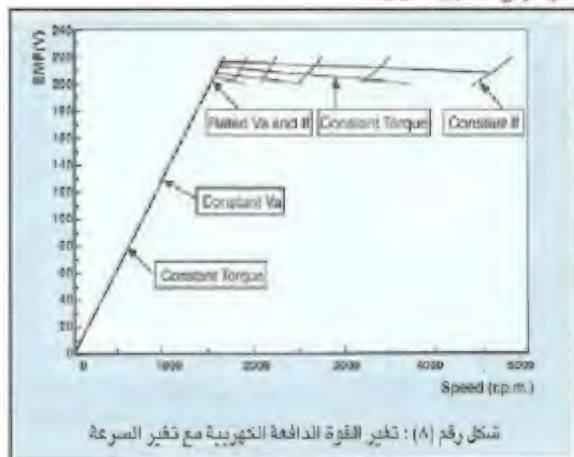
يوضح الشكل رقم (٨) تغير تيار المجال II مع تغير السرعة حيث يتصح ثبات II عند القيمة المثبتة خلال منطقة السرعات المنخفضة. بينما يقل II كما بالشكل في منطقة السرعات المرتفعة وتكون قيمة II أعلى كلما كان عزم الحمل أقل.

أما تغير قدرة الخرج مع تغير السرعة فتكون كما في الشكل رقم (٩). حيث لا يمكن الحصول على قدرة الحمل الكامل خلال منطقة السرعات المنخفضة. بينما يمكن الحصول عليها عند أي من السرعات المرتفعة. وتبعاً لزيادة قدرة الخرج تتزايد قدرة دخل المحرك كما في الشكل رقم (١٠) للحالات المختلفة لعزم الحمل. وتتغير كفاءة المحرك مع السرعة وتتوقف على قيمة عزم الحمل كما في الشكل رقم (١١) حيث نجد أنه في منطقة السرعات المرتفعة تكون الكفاءة بأعلى قيمتها وتقل بانخفاض السرعة وانخفاض عزم الحمل.

وتتغير قيمة القوة الدافعة الكهربائية emf في عضو الاستنتاج كما في الشكل رقم (١٢). حيث تتزايد بزيادة السرعة في منطقة السرعات المنخفضة وتبقى ثابتة تقريباً قرب الجهد المثبت في منطقة السرعات المرتفعة وتقل كلما زاد عزم الحمل. وتتغير الخواص الكمية في المحرك مع تغير السرعة كما في الشكل رقم (١٣) حيث نجد أن الخواص تتزايد بزيادة العزم على المحرك مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته وتصل إلى قيمة عالية مساوية لقيمتها عند الحمل الكامل عندما يكون العزم مساوياً لعزم الحمل الكامل في منطقة السرعات

لنفس أجهزة حماية المحرك بسبب زيادة الحمل أكثر من اللازم Over Load أو أي سبب آخر. فإنه لا يجب إعادة توصيل الكهربياء للمحرك والمفتاحان (a)، (b) في وضع السرعة العالية لأن التيار Ia سوف يكون عالياً جداً وسوف يقوم جهاز Over Current Protection بفصل المحرك. بل يجب إعادة وضع المفتاحين (a)، (b) إلى وضع السفر ثم زيادة السرعة بالتدريج المين سابقاً.

ونلاحظ من الشكل رقم (١٤) أن المحرك إذا كان معزلاً بعزم الحمل الكامل فإنه لا نستطيع زيادة سرعته عن السرعة المثبتة حتى لا يزداد Ia عن القيمة المثبتة. أما إذا كان العزم أقل من عزم الحمل الكامل فإننا نستطيع زيادة السرعة عن القيمة المثبتة. وكلما قل العزم أمكن زيادة السرعة أكثر. كما بالشكل رقم (١٥) الذي أعطيت فيه عدة أمثلة ذات عزم ثابت مع تغير السرعة. ولهذا فإنه يجب دائماً متابعة قراءة التيار Ia عندما نقوم بزيادة السرعة. ولأنه عند زيادة السرعة يجب تحريك أي من المفتاحين (a)، (b) ببطء يناسب استجابة المحرك لزيادة السرعة. أما إذا تم تحريك المفتاح بسرعة فإن Ia سوف يزداد وقد يصل إلى قيم أعلى من القيمة المثبتة. ولهذا يفضل دائماً استخدام جهاز "أميتر" مع عضو الاستنتاج للأجهزة على قيمة Ia. كما أنه بمشاهدة قيمة Ia مع تغير السرعة يمكن التعرف على نوع الحمل فإذا كان العزم ثابتاً مع تغير السرعة نجد أن Ia يبقى ثابتاً في منطقة السرعات المنخفضة. أما إذا كان العزم يتزايد بزيادة السرعة فإن Ia يتزايد بزيادة السرعة بنفس معدل تزايد العزم في منطقة السرعات الأقل من السرعة المثبتة. مع ملاحظة أن هذا يتناسب مع العزم الكلي للحمل والاحتكاك الميكانيكي في الأجزاء الدوارة.



شكل رقم (٩): تغير القوة الدافعة الكهربائية مع تغير السرعة

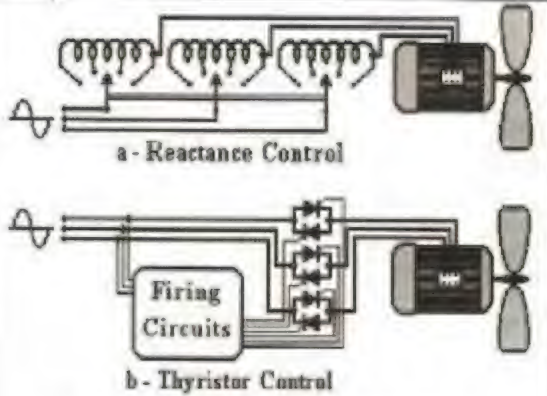


# التحكم في سرعة المحركات الكهربائية

## ٢ - محركات التيار المتردد

د. فتحي عبد القادر

أستاذ الآلات الكهربائية، هندسة شين الكوم



شكل رقم (١): تغيير جهد المحرك للتحكم في السرعة

ويلاحظ أن مدى تغير السرعة مع حمل Fan يكون كبيراً (١٤٠٠ - ٦٦٠ لفة / دقيقة) بينما إذا كان الحمل ثابت العزم فإن السرعة تتغير من ١٤٠٠ إلى أكثر قليلاً من ١٢٠٠ لفة / دقيقة عند الجهد V3. لأنه إذا انخفض الجهد لأقل من V3 فإن عزم المحرك عند أية سرعة يكون أقل من عزم الحمل ولا يحدث تقاطع بين منحنى الحمل ومنحنى المحرك. بل إنه مع هذا الحمل الثابت العزم، نحتاج خفض الجهد عن V3 لتخفيض سرعة المحرك إلى الصفر فوراً ولا يستطيع تشغيل الحمل. ويوضح الشكل رقم (٢) ملاحظة هامة. وهي أن منحنى الحمل تقاطع مع منحنى المحرك عند الجهدين V5 و V4 عند أقل من سرعة العزم الأقصى. وهناك خطأ شائع بأن المحرك لا يستطيع أن يعمل عند أقل من سرعة

Torque يبقى عند نفس السرعة (١٢٠٠ لفة / دقيقة) عند جميع الجهود لهذا المحرك. وتتحدد السرعة التي سوف يدور بها الحمل عند أي جهد. من تقاطع منحنى عزم المحرك ومنحنى عزم الحمل. فإذا كان الحمل من نوع المراوح أو طلمبات الطرد المركزي فإن المنحنى يأخذ شكل Fan Load. أما إذا كان الحمل ثابتاً Constant Torque Load - مثل المساعد والأوتاش والدرقلة - كالعين بالشكل. فإن منحنى النوعين من الاحمال يعملان عند سرعة n1 بقيمة الجهد V1. أما إذا انخفض الجهد إلى V2 فإن منحنى المحرك يتقاطع مع منحنى Fan عند السرعة n2. وباستمرار خفض الجهد حتى V5 تنخفض السرعة حتى n5 كما بالشكل.

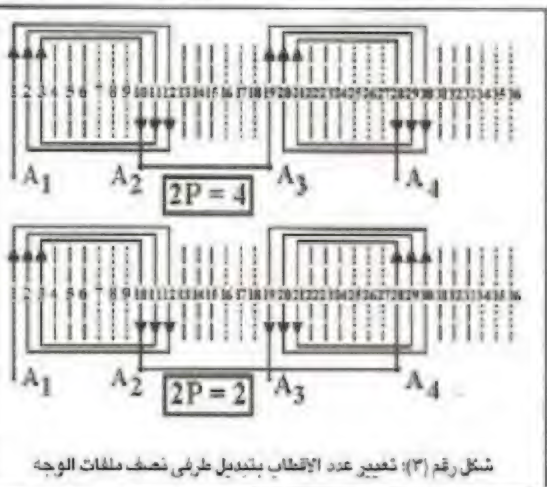
أما عند استخدام الثايرستور، فإن التكلفة يجب أن تكون أقل من أية طريقة أخرى عندما تكون الأسعار حقيقية وغير مغال فيها. وتتميز هذه الطريقة أيضاً بانعدام القدرة المفقودة فيها تقريباً وكذلك مدى أوسع وأكثر حساسية لتغير السرعة. أما العيب الرئيسي لهذه الطريقة فهو تشويه موجة جهد المحرك عن الموجة الجيبية مما يزيد مفاقيد المحرك ذاته إلى جانب سرعة تلف بعض المكونات الإلكترونية واحتياجها للصيانة.

ويلاحظ أنه يمكن استخدام أي من الطرق السابقة للتحكم في السرعة في بدء الحركة Starting للمحرك. أي أنه يمكن إنقاص تيارات المحرك عند البدء وإيصالها إلى قيم يتحملها المحرك. كما يمكن استخدام هذه الطرق لعمل بدء ناعم Soft Starting للمحرك حيث ينقص عزم بدء المحرك إلى قيمة عزم بدء الحمل ثم يزداد بالتدريج. ويتم البدء الناعم أوتوماتيكياً بسهولة باستخدام الثايرستور والمكونات الإلكترونية المختلفة.

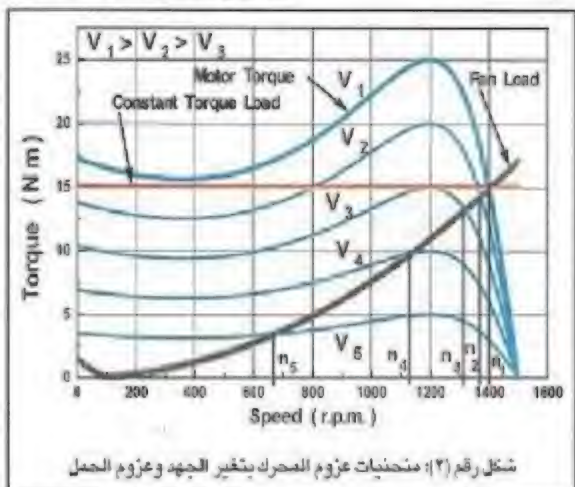
ومن الشكل رقم (٢) تتضح إمكانية أي من طرق خفض الجهد للسلط على المحرك في تغيير السرعة. حيث يكون عزم المحرك كبيراً عند الجهد V1 خلال كل السرعات من الصفر وحتى سرعة التزامن (١٥٠٠ لفة / دقيقة). بينما يتناقص كل منحنى العزم كلما انخفض الجهد إلى V2 حتى V5. حيث يتناسب العزم عند أي سرعة مع مربع الجهد - ونجد أن العزم الأقصى للمحرك Maximum

تتنوع محركات التيار المتردد بين أنواع لمحركات الثلاثة أوجه وأنواع لمحركات الوجه الواحد. نبدأ بأهم هذه الأنواع وأكثرها شيوعاً في الاستخدام وهي المحركات الشاورية ذات الثلاثة أوجه Three Phase Induction Motor حيث تتركز الطرق الرئيسية للتحكم في السرعة بين:

١ - تغيير الجهد المسلط على المحرك: لتغيير السرعة عن طريق تغيير الجهد المسلط على المحرك، تصبح وسيلة التحكم في السرعة هي التي تقوم بتغيير الجهد. ويتم ذلك بعدة طرق أهمها: استخدام ممانعة حثية Inductive Reactance متعددة الأضراف - أو استخدام الثايرستور - كما في الشكل رقم (١). والممانعة الحثية تتكون من ثلاثة ملفات متشابة كل منها موضوع على قلب يشبه تماماً القلب الحديدي لحوّل ثلاثي الأوجه. أو يوضع كل ملف على قلب حديدي مستقل يشبه القلب الحديدي لحوّل ذي وجه واحد. وهذه الممانعة أقل تكلفة مما لو استخدم محوّل لخفض الجهد لنفس الهدف. وذلك لأن الملف يكون عليه نحو ٤٠٪ من جهد الوجه في حالة الممانعة بينما يكون عليه ١٠٠٪ من جهد الوجه في حالة المحوّل. وبالتالي تكون عدد لفات وجهه ومن ثم حجم النحاس والحديد والتكلفة أعلى في المحوّل عنها في الممانعة. وإذا استخدمت مقاومات بدلاً من الممانعات فإن القدرة المفقودة في هذه المقاومات تكون كبيرة وتمثل عيباً كبيراً.

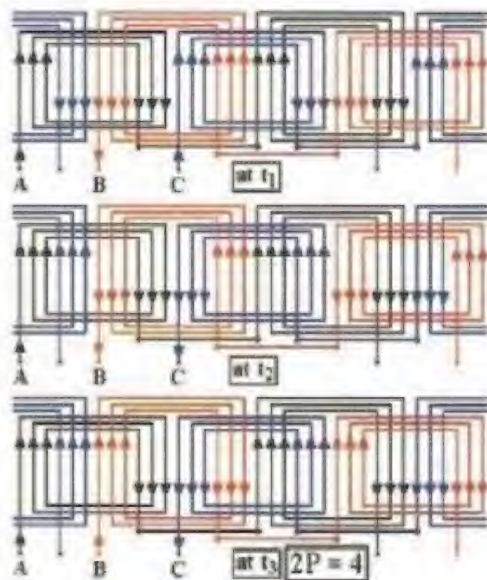
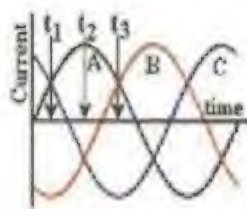


شكل رقم (٢): تغيير عدد الاقطاب بتدوير طرفي نصف ملفات الوجه

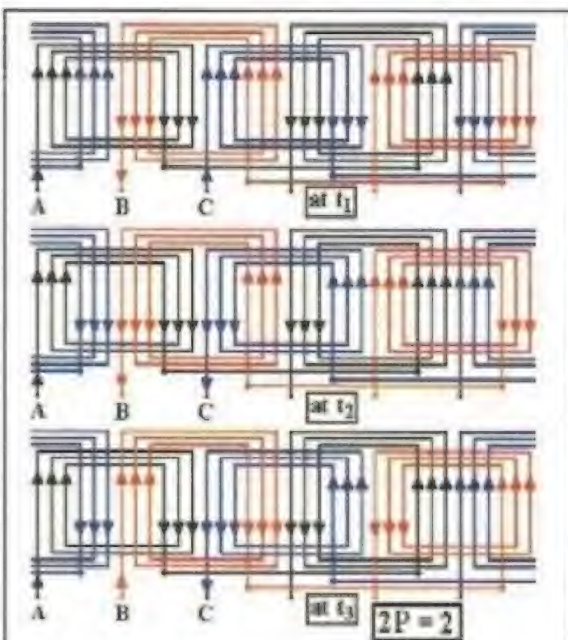


شكل رقم (٢): منحنيات عزم المحرك بتغير الجهد وعزم الحمل





شكل رقم (٤): اتجاهات التيار عند أزمنة مختلفة (في حالة أربعة أقطاب)



شكل رقم (٥): اتجاهات التيار عند أزمنة مختلفة (في حالة قطبين)

الحصول على سرعة شالشة من نفس الملفات.

يوضح الشكل رقم (٣) الفكرة الأساسية لتغيير عدد الأقطاب بتعديل التوصيل للملفات المحرك. كما يوضح الشكل تعديل أحد الأوجه حيث يتم توصيل نهاية مجموعة الثلاثة ملفات الأولى A2 ببداية المجموعة الثانية A3 فنحصل على أربعة أقطاب وتكون بداية هذا الوجه A1 ونهايته A4. وللحصول على قطبين يتم تبديل أطراف المجموعة الثانية فقط حيث توصيل النهاية A2 بالنهاية A4 وتكون بداية الوجه هي A1 ونهايته هي A3.

وهذا الشكل - رقم (٣) - هو ما يشرح هذه الطريقة في المراجع العلمية. ولكن الأمر ليس بهذه البساطة. فسوف نجد أن تطبيق هذا التعديل في التوصيل من أربعة أقطاب إلى قطبين لا يحقق الحصول على قطبين لأننا لا نحصل على الأربعة أقطاب من وجه واحد فقط بل من الثلاثة أوجه. وكل وجه يتغير اتجاه تياره عن الوجهين السابقين في وقت مختلف في الوجهين الآخرين. ويجب أن نحصل على الأربعة أقطاب في أي وقت، ويتضح ذلك من الاتجاه الواحد للتيار في مجموعة مجاري متجاورة تخضع للتأثير أوجه. وتكون المجموعة التالية مختلفة عنها في الاتجاه. وهكذا نحصل بساقي المجموعات الأربع من المجاري التي تعطي أربعة أقطاب كما في الشكل رقم (٤). ومن شكل موجبات التيار وعند اللحظة الزمنية t1 يكون تيار الوجه الأول A موجياً أي دافئاً من بداية الوجه A. وكذلك الوجه C. أما الوجه B فيكون سالماً ويخرج التيار من بداية الوجه B. ونحصل على أربعة أقطاب عند الزمن t1. وعند الزمن t2 يتغير التيار في الوجه C ليصبح سالماً ونحصل أيضاً على أربعة أقطاب. وعند الزمن t3 يصبح تيار الوجه B موجياً ونحصل أيضاً على أربعة أقطاب. ونلاحظ أن المجاري ذات الاتجاه الواحد تتحرك يميناً عند الزمن t2 عما كانت عليه عند الزمن t1. وعند الزمن t3 تتحرك نفس المجاري يميناً أكثر وهذا ما ينتج المجال المناطيسي الدائري Rotating Field.

وإذا تم عمل التعديل المبين في الشكل رقم (٣) للحصول على قطبين من أربعة أقطاب تعددت عدة أخطاء. أولها أن ملفات الوجه في الأربعة أقطاب والمقطبين تبقى جميعها متصلة عن التوالي. وإذا تم توصيل نفس جهد المصنع إلى الملفات في كل من سرعتين يصبح الجهد على نفس الملفات بنفس عدد الملفات واحداً. وهذا لا يجب - بل يجب زيادة الجهد في السرعة العالية عن السرعة المنخفضة

العزم الأقصى. والصحيح أن الجهد إذا كان بالقيمة المقتضية Rated فإنه يستطيع تشغيل حمل مثل Fan بسرعة أقل من سرعة العزم الأقصى ولكن التيار يكون عالياً وقيمة أكبر من القيمة المقتضية ولا يتحملها المحرك لفترة طويلة. أما في حالة حمل Fan فإن المحرك يعمل عند سرعتين n4 و n5 بصورة طبيعية لأن الجهد يكون قد انخفض بدرجة مناسبة لخفض التيار عن القيمة المقتضية.

ولهذا فإن طريقة خفض الجهد تكون أكثر استخداماً وشيوعاً مع الأحمال من نوع المراوح وطمبات الطرد المركزي وطمبات الأعماق والشفاطات. وهذه النوعية من الأحمال تتغير قدرة الخرج لها بدرجة كبيرة مع أي تغير بسيط في السرعة. لأن قدرة الخرج تتناسب مع مكعب السرعة (P ∝ ω³). فإني هذا المدى لتغير السرعة - ورغم أنه صغير - يكون كافياً لإحداث تغير كبير في كمية الهواء أو كمية المياه.

## ٢ - تغيير عدد الأقطاب:

يمكن تغيير السرعة بتغيير عدد الأقطاب. لأن سرعة المحرك تقرب من سرعة التزامن n<sub>s</sub> التي تتغير بتغير عدد الأقطاب 2p حسب العلاقة  $(n_s = 120f / 2p)$ . بحيث أن f هي تردد المصنع - ويكون ثابتاً - فإن تغير عدد الأقطاب يؤدي إلى تغير السرعة. فإذا زاد عدد الأقطاب إلى الضعف تنخفض السرعة إلى النصف. ويقال إن هذه الطريقة هي (بسط الطرق) لتغيير السرعة لأن وسيلة التحكم في السرعة تكون مجرد مفتاح بسيط يبدل توصيلات ملفات المحرك فقط وتكون أقل الطرق تكلفة ولا تحتاج إلى صيانة تقريباً. ورغم ذلك فإن هذه الطريقة - للمراجع العلمية المتخصصة - مما يسبب مشاكل كثيرة للمهندس عند التعامل معها ومع المحرك المجهز لها. ولهذا فسوف نتناول هذه الطريقة بفرع من الإيضاح.

تستخدم هذه الطريقة مع المحركات المصممة لتعطي عدداً معيناً من الأقطاب بحيث يخرج طرف من منتصف كل وجه بالإضافة إلى طرق بداية ونهاية الوجه ثم يبدل التوصيل لخفض عدد الأقطاب إلى النصف لزيادة السرعة إلى الضعف. حيث تستخدم مع المحرك ذي الأربعة أقطاب ويوصل إلى قطبين أو المحرك ذي الثمانية أقطاب ويوصل إلى أربعة أقطاب أو المحرك ذي ١٢ قطباً ويوصل إلى ٦ أقطاب. وبذلك فإن هذه الطريقة تستخدم للحصول على سرعتين فقط. وفي بعض الحالات الخاصة يمكن عمل تعديل آخر





حتى تحصل على أكبر قدرة ممكنة من المحرك. ويتضمن ذلك من المعادلة  $E = 4.44 \text{ } \phi \text{ } f \text{ } N$ ، فإذا كان الجهد واحدًا فإن  $E$  تكون واحدة تقريبًا ولكن عدد خطوط المجال  $\phi$  للقطب تكون أكبر في حالة القطبين عن الأربعة أقطاب عندما تحتفظ بنفس كثافة المجال المغناطيسي للمحافظة على قدرة المحرك لأن مساحة القطب في حالة القطبين تكون ضعف مساحة القطب في الأربعة أقطاب. ولكن نظرًا لثبات أبعاد باقى الماكينة المغناطيسية فإن الزيادة في عدد خطوط المجال لا تصل إلى الضعف بل تزيد بنسبة ١٦٪. وإذا كان عدد اللغات لكل وجه  $N$  ثابتًا فإن  $E$  وبالتالي جهد الوجه يجب أن يزداد بنسبة ١٦٪ في حالة القطبين عن الأربعة أقطاب أو يتم إنقاص عدد اللغات في حالة القطبين عن الأربعة أقطاب.

والخطا الثاني هو عدم بقاء عدد الأقطاب مساويًا للقطبين عند أية لحظة كما يظهر من الشكل رقم (٥). حيث يكون عدد الأقطاب ٦ عند كل من الزمن  $t1, t2, t3$  كما يختلف عرض القطب Pole Spread من لحظة إلى أخرى.

والخطا الثالث هو عدم تكون المجال الدائري حيث نجد أن مجموعة المجاري المتجاورة ذات الاتجاه الواحد للتيار تتحرك من لحظة إلى أخرى سرعة يمينًا وأخرى يسارًا، بينما يجب أن تتحرك في اتجاه واحد بسرعة الزمان.

والخلاص على هذه الأخطاء يجب أن يتم التعديل في عدم الأقطاب بالشروط التالية:

١- أن يكون انتشار ملفات الوجه في مجاري كل قطب Phase Spread بقيمة ١٢٠ وليس ٦٠.  
٢- أن تكون ملفات الحضور الثابت للمحرك ملفوفة بطريقة جانبية ملف في المجري Double Layer وهي طريقة لازمة لتحقيق الشريط الأول.

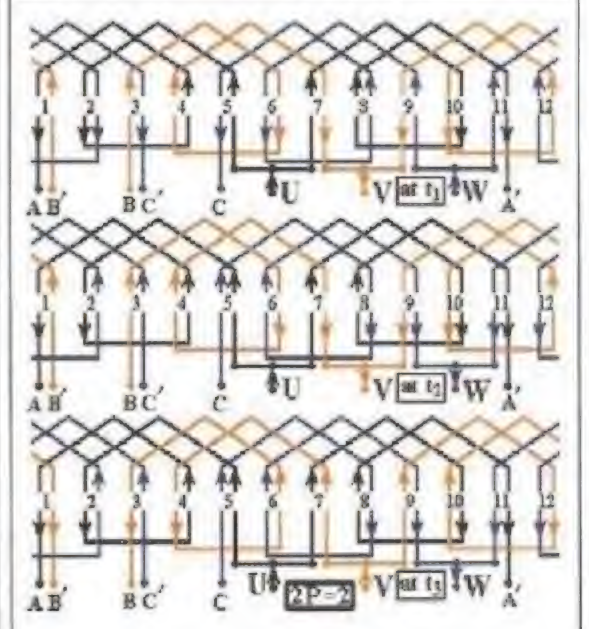
٣- ضبط توصيل أجزاء ملفات كل وجه بحيث توصل بدايات ونهايات الأوجه إلى المنبع بشكل متجمعة أو متداخلة في حالة السرعة البطيئة. أما في السرعة العالية فيوصّل المنبع إلى منتصف الملفات حتى يمر التيار في نصف الوجه في اتجاه وفي النصف الثاني في الاتجاه المضاد.

٤- ضبط توصيل أجزاء ملفات كل وجه بحيث يكون الجهد المتوصل للملفات مناسبًا لحجم عزم يناسب نوع الحمل المستخدم مع المحرك. ولتوضيح هذه الشروط الأربعة، أخذ عزم ثابت مكون من ١٢ مجري - بدلاً من ٣٦ مجري في الأشكال من (٢) إلى (٥) - بسهولة ميان ألف من نوع Double Layer - 120° Phase Spread. ففي الشكل رقم (٦) حيث يكون المحرك أربعة أقطاب، تكون عدد المجاري للقطب ٢ مشتتة على ١٢٠ كهربية، أي أن المجري راوينا ٦٠ كهربية. فإذا كان انتشار الوجه ٦٠ في كل قطب فإن ملفات الوجه أوضع بحيث تشغل مجري واحدة في كل

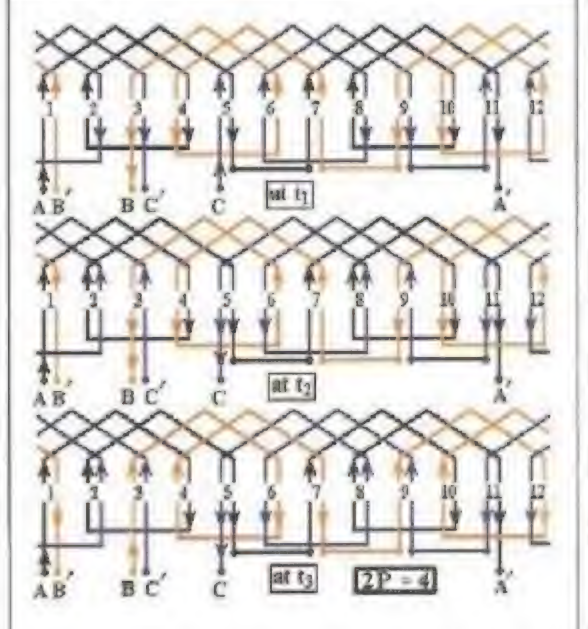
قطب. وفي الشكل رقم (٦) يكون انتشار الوجه في كل قطب ١٢٠ مما يجعل ملفات الوجه تشغل ٢ مجري في كل قطب وتتداخل ملفات وجه مع وجه آخر في نفس المجري، بينما كان كل وجه مستقلًا في المجري في حالة انتشار ٦٠. وتكون نهاية الأوجه A,B,C ونهاياتها A',B',C' وعند اللحظات الزمنية  $t1, t2, t3$  المبينة في الشكل رقم (٥)، يكون اتجاه التيارات كما في الشكل رقم (٦) حيث تكون التيارات لأسفل في المجري 2,3,4,5 في الزمن  $t1$ ، وتتحرك يمينًا عند الزمن  $t2$  ويمينا أكثر عند الزمن  $t3$  لتشكل المجال الدائري. وبالمثل أن المجريين 2,5 عند الزمن  $t1$  يكون في كل منهما جانب ملف ثباره لأعلى وآخر تباره لأسفل. وهذا لا يلاشى مجال المجري ولكنه يحسن من جعل توزيع كثافة المجال بشكل جيبي وفي هذا الشكل تنشأ الأربعة أقطاب بالشكل المعتاد.

ويوضح الشكل رقم (٧) التعديل الذي تم على الأربعة أقطاب في الشكل رقم (٦) للحصول على القطبين، حيث تم تقطيع كل وجه من المنتصف في النقاط U,V,W، حتى يمر التيار في نصف كل وجه في اتجاه وفي النصف الثاني في الاتجاه المضاد حتى نحصل في أي من اللحظات الزمنية  $t1, t2, t3$  على مجموعة متجاورة من التيارات لأسفل وأخرى لأعلى لتشكل القطبين. أهم ما يميزها أنها تتحرك بينما مع الزمن لتكون المجال الدائري. وتوصل بدايات الأوجه A,B,C ونهاياتها A',B',C'

جميعها مع بعضها البعض حتى يصبح نصف كل وجه متصلين بالتوازي والأوجه الثلاثة متصلة متجمعة كما في الشكل رقم (٨). وهكذا تكون الشروط الثلاثة الأولى قد تحققت. أما الشرط الرابع لجعل جهد الملفات مناسبًا في كل من السرعتين العالية والبطيئة، فإنه يتحقق كما في الشكل رقم (٨) حيث نجد أن الحمل عندما يكون من نوع Fan فإنه يحتاج لحجم صغير في السرعة المنخفضة ولذلك يفضل خفض الجهد إلى نصف جهد السرعة العالية. حيث يكون الجهد ١٠ أفي نصف ملف الوجه في السرعة المنخفضة المبينة في التوصيلة (a) وذلك بتوصيل نصف كل وجه بالتوازي والأوجه موصلة متجمعة إلى منبع جهده ٢٨٠ف. بينما في السرعة العالية بالتوصيلة (c) كان جهد نصف الوجه ٢٢٠ف من نفس المنبع. أما عندما يكون الحمل من نوع Constant Torque فإنه يحتاج إلى نفس العزم العالي عند السرعة المنخفضة. ولهذا يكون جهد نصف الوجه أكبر من حالة Fan حيث يكون ١٦٠ف ويتم ذلك بتوصيل نصف الوجه بالتوازي وتوصل الأوجه دلتا إلى نفس المنبع ٢٨٠ف كما في التوصيلة (b) ويوضح الشكل (d) متغيرات عزم المحرك وعزم الحمل للتوصيلات المختلفة a,b,c. وبالمثل أنه إذا كان الحمل Fan فإنه يمكن استخدام التوصيلة (b) لتشغيل هذا الحمل عند السرعة المنخفضة. إلا أن التوصيلة (a) أفضل منها لهذا الحمل

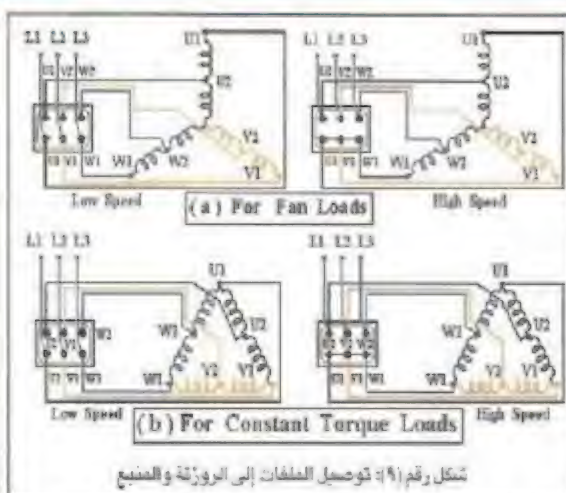


شكل رقم (٧): اتجاهات التيار عند أزمنة مختلفة (مع الملفات بانتشار ١٢٠ للوجه في حالة قطبين)



شكل رقم (٦): اتجاهات التيار عند أزمنة مختلفة (مع الملفات بانتشار ١٢٠ للوجه في حالة أربعة أقطاب)





شكل رقم ٩: توصيل الملفات إلى الروتور والمصدر

الدائر من نوع Wound Rotor أو في المحرك التزامني فإن عدد أقطابه يبقى ثابتاً مهما تغير عدد أقطاب العضو الثابت، ولا يتشأ عزم مناسب في حالة اختلاف عدد أقطاب العضو الدائر عن العضو الثابت.

في العدد القادم  
طرق التحكم في السرعة  
بتغيير التردد

وبلاحظ أن هذه الطريقة للتحكم في السرعة عن طريق تغيير عدد الأقطاب تستخدم فقط مع المحركات الشاذية ثلاثية الأوجه من نوع Squinell Cage - ولا تصلح للاستخدام مع المحركات من نوع Wound Rotor أو مع المحركات التزامنية وذلك لأن التعديل يتم في عدد أقطاب العضو الثابت فقط. والعنصر الدائر من نوع Squinell Cage تتعدل أقطابه مباشرة تبعاً لأقطاب العضو الثابت، أما العنصر

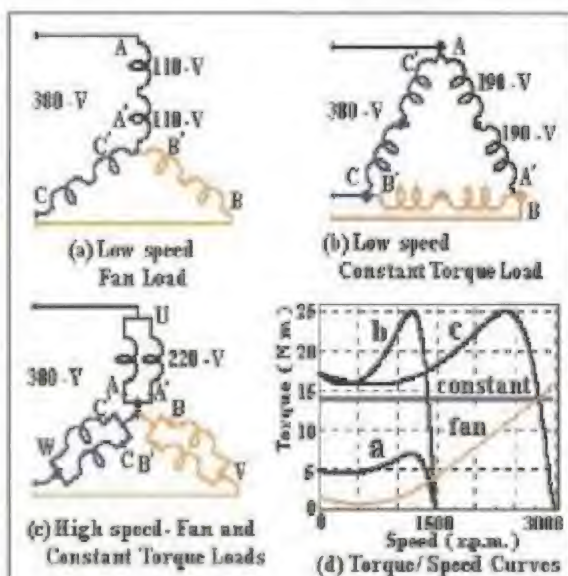
أطراف الخطوط U1, V1, W1 إلى الروتور، كما توصيل أطراف منتصف الأوجه U2, V2, W2 إلى الروتور، وفي حالة السرعة المنخفضة أو العالية يوصل القطع إلى روتور المحرك بنفس الأسلوب المتبع مع المحرك الخاص بعمل Fan.

ويحدث لبس لكثير من المهندسين عندما يجدون أن روتور المحرك تقليدية ذات ستة أطراف توجد بها كباري لصل نقطة «نجمة».. وعندما تحدث مشكلة للمحرك يلزمعون الكباري ويقيسون المقاومة بين الأطراف الستة للروتور ويجدون أنها تقاس مقاومة بسيطة بين كل الأطراف فيظنون أن المحرك حدث له خطأ قصر Short بين ملفات.. ولكن الملفات يمكن أن تكون سليمة مع هذه القياسات لأن الملفات موصلة مع بعضها من الداخل بعيداً عن الروتور بالشكل رقم (٩).

ولنعرف على ما إذا كان المحرك مجهزاً لعمل Fan أو لعمل Constant Torque فإن ذلك يكون أما مكتوباً صراحة على لوحة بيانات المحرك أو ينتج عن قدرة خرج المحرك لكل من السرعتين العالية والمنخفضة حيث تكون النسبة بين قدرة خرج السرعة العالية إلى قدرة خرج السرعة المنخفضة في حدود (١,٢) في حالة Constant Torque وفي حدود من (٣ - ٤) في حالة Fan. مع ملاحظة أن أكثر الأنواع شيوعاً هو الخاص بعمل Constant Torque لأنه يستطيع أيضاً أن يشغل بعمل Fan ولكن بكفاءة منخفضة.

لأن مفاتيح المحرك ثقيل وبالتالي تتلف حواريته وتتمسك الكفاءة ومخاميل القدرة ويتم تغيير الطاقة الكهربائية. أما التوصيلة (a) فإتينا لا تصلح لتشغيل الحمل Constant Torque في السرعة المنخفضة لأن عزم المحرك أقل من عزم الصل، وتصمم ملفات المحرك بحيث يكون جهد التصميم ٢٢٠ ف لنصف ملفات الوجه عند السرعة العالية.

ويسمى تعديل الأقطاب بهذا الأسلوب بطريقة Dahlander أو Pole Amplitude Modulation، ولكن يتم تعديل توصيل الملفات بسهولة للحصول على السرعتين فإنه يتم تصنيع هذه المحركات بحيث يستخدم المحرك إما مع حمل Fan أو مع حمل Constant Torque لأن التوصيلات الداخلية من ملفات المحرك إلى روتور التوصيل تختلف للذين النوعين من الأحمال كما في الشكل رقم (٩)، وفي حالة Fan Load توصيل ملفات الأوجه داخل المحرك بشكل «نجمة» وتوصيل بداية الأوجه U1, V1, W1 إلى الروتور كما بالشكل. أما منتصف الأوجه U2, V2, W2 فتوصيل إلى الروتور أيضاً. وفي حالة السرعة المنخفضة يوصل المنبع إلى الأطراف U1, V1, W1، أما في السرعة العالية فتوصل الأطراف U1, V1, W1 ببعضها البعض بواسطة كباري ويوصل المنبع إلى الأطراف U2, V2, W2. وفي المحرك الخاص بعمل Constant Torque يوصل المحرك في الداخل بشكل «دلتا» وتوصل



شكل رقم ٩: تعديل الملفات لضبط الجهد المناسب للسرعة وعزم الحمل

## كريمة للصناعات الهندسية

دم - ثروت كريمة وشركاه.

حوامل كابلات من الصاج المجلفن

سمك ١ - ١,٢٥ - ١,٥ مم  
عرض ٢٥ - ٧٠٠ مم

المصنع: برج العرب الجديدة - المنطقة الصناعية - ١٥٩٠٧٦٩

الاستفسارية: ٩٠ - ٤٣٠ - ٥٩٦٦١٧٧ - فاكس: ٥٩٦٦٤٧٧



# التحكم في سرعة المحركات الكهربائية بتغيير التردد

د. فتحي عبد القادر

رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شبين الكوم

١٠٨٢ وات وهي أعلى بكثير من التي يتصلها المحرك (٢٨٣ وات).

لهذا .. فعادة ما يتم تشغيل المحرك على جهد ثابت يساوي الجهد المقنن عندما يكون التردد أعلى من التردد المقنن. ويتم التشغيل على النسبة  $V/F$  Constant = عند الترددات الأقل من التردد المقنن، وفي هذه الحالة تنخفض مقادير الحديد ومقاوئته النحاس عند الترددات العالية - شكل رقم (٣).

ويقال إن منطقة الترددات المنخفضة هي منطقة المجال المغناطيسي الثابت Constant Flux وبالتالي العزم الأقصى Maximum Torque الثابت وعزم الصل الكامل Full Load Torque الثابت. أما قدرة خرج المحرك فإنها تتزايد في هذه المنطقة، وتسمى منطقة الترددات المرتفعة بمنطقة القدرة الثابتة للخرج والجهد الثابت كما تسمى بمنطقة المجال الضعيف Weaking Flux حيث يتناقص فيها المجال المغناطيسي وبالتالي العزم. وفي هذه الحالة تكون خواص الأداء للمحرك كما يلاحظ أشكالاً أرقام (٤)، (٥)، (٦).

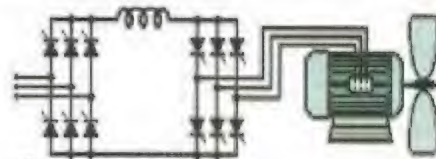
وتتغير عزم المحرك عند الترددات المختلفة وينخفض العزم الأقصى للمحرك وبالتالي عزم الحمل الكامل في الترددات المختلفة كما بالشكل رقم (٤). وينخفض العزم الأقصى للمحرك وبالتالي عزم الحمل الكامل في الترددات المنخفضة ولا يبقى ثابتاً وذلك لأن المحرك لا يكافئ ممانعة Reactance فقط، بل يكافئ ممانعة ومقاومة لكل وجه وتتغير الممانعة بتغير التردد وتظل المقاومة ثابتة وبالتالي فإن ثبات النسبة

الشكل رقم (٢). أما بزيادة التردد عن التردد الأساسي.. فإن المقادير الحديدية تزداد لأن مقادير التيارات الإعصارية Eddy Current Losses تتناسب مع مربع التردد.. ومقاوئته التعويضي المغناطيسي Hysteresis Losses تتناسب مع التردد. وعلى ذلك، فإنه بزيادة التردد عن التردد الأساسي ويستتعار المحافظة على النسبة  $V/F = \text{Constant}$  تزداد مقادير الحديد وتمثل خطورة على المحرك كما في الشكل رقم (٢) الذي يبين تغير مقادير الحديد ومقاوئته النحاس ومجموع هذه المقادير لمحرك ٢ الحصان ذي أربعة أقطاب جهد وجهه المقنن ٢٢٠ ف وتريده المقنن ٥٠ ٪/ث حيث تكون مقادير الحديد عند اللا حمل ٨٠ وات ومقاوئته النحاس ١٢ وات.. وعندما يعمل المحرك على التردد المقنن ويزيادة عزم الحمل حتى الحمل الكامل تقل مقادير الحديد إلى ٦٠ وات وتزداد مقادير النحاس إلى ٢٢٢ وات وبالتالي تكون المقادير الكلية ٢٨٢ وات عند الحمل الكامل وهي المقادير المقتلة التي لا يتحملها المحرك أكثر منها. وإذا عمل المحرك على ١٠٠ ٪/ث مع ثبات النسبة  $V/F$  يكون جهد الوجه ٤٤٠ ف وتزداد مقادير الحديد عند اللا حمل إلى ٦٧٧ وات وتؤدي إلى زيادة التيار ليغذي هذه المقادير وبالتالي تزداد مقادير النحاس عند اللا حمل إلى ١٥٤ وات. وعند زيادة عزم الحمل إلى القيمة التي يجب أن يتحملها المحرك تقل مقادير الحديد إلى ٤١٤ وات وتزداد مقادير النحاس إلى ٦٦٩ وات ويكون مجموع المقادير

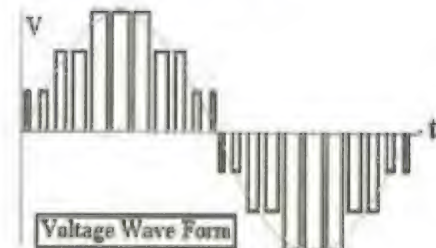
الجهد كما بالشكل رقم (١). وهذا الأسلوب للحصول على موجة تقرب من الشكل الجيبى Sinusoidal يسمى بالنبضات المعدلة العرض Pulse Width Modulation. وللاقتراح أكثر من الشكل الجيبى.. يحدث تعديل لقيمة الجهد الذي يمثل ارتفاع النبضة بحيث يأخذ مستويين أو ثلاثة كما بالشكل. وقيمة الجهد المناسب لكل تردد هي العلاقة الأساسية التي تحكم أداء المحرك وتحدد خواصه.. لأن تغير التردد يغير ممانعات المحرك وبالتالي تياراته. فإذا سلط جهد  $V$  على ممانعة Reactance قيمتها  $X$  يمر بها تيار قيمته  $V/X = I$ . وإذا انخفض التردد إلى النصف مثلاً.. فإن الممانعة تنخفض إلى النصف ويزداد التيار إلى الضعف إذا كان الجهد ثابتاً.. وحتى ليزداد التيار وبالتالي تزداد مقادير النحاس Copper Losses وتؤدي إلى اختراق المفاصل يجب أن ينخفض الجهد إلى النصف حتى يبقى التيار ثابتاً. وهذه العلاقة تعني ثبات النسبة بين الجهد  $V$  إلى التردد  $F$  ( $V/F = \text{Constant}$ ). وبتبات التيار تبقى مقادير النحاس ثابتة عند القيمة التي يتحملها المحرك وذلك بخفض التردد عن التردد الأساسي المصمم عليه المحرك Base Frequency وتتنخفض المقادير الحديدية Iron Losses بانخفاض التردد كما في

أدى التطور المستمر في المكونات الإلكترونية إلى سهولة تغيير تردد الجهد المسلط على المحركات الكهربائية. وقد كان العيب الرئيسي للمحركات التناظرية هو صعوبة التحكم في السرعة بشكل ما يتم مع محركات التيار المستمر.. مما كان يحتم استخدام محركات التيار المستمر عندما يحتاج الصل الميكانيكي إلى التحكم في سرعته بدقة حسابية ومدى كبير يرقم أن محركات التيار المستمر أقل ثباتاً وأكثر حاجة للصيانة وأقصر عمراً من المحركات التناظرية.

وبتغير التردد للمحركات التناظرية.. يتم التحكم في سرعتها خلال مدى كبير وبدقة حسابية عالية.. لأن سرعة المحرك تقرب من سرعة التزامن التي تتناسب مع التردد. ويتم الحصول على تردد متغير باستخدام جهاز متغير التردد Frequency Converter الذي يتكون من جزئين - شكل رقم (١) - الأول عبارة عن قنطرة توحيد Bridge Rectifier محكمة بالتأثير مستور ليتم التحكم في جهد التيار المستمر الخارج عنها وبالتالي جهد التيار المتغير الذي يوصل للمحرك. والثاني عبارة عن مقنع للتيار المستمر ليحوّله إلى تيار متغير Inverter حيث تكون كل موجة عبارة عن نبضات يختلف عرضها الذي يمثل الزمن وارتفاعها الذي يمثل قيمة

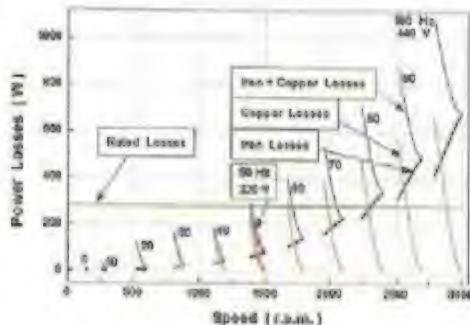


Converter Inverter  
Frequency Converter



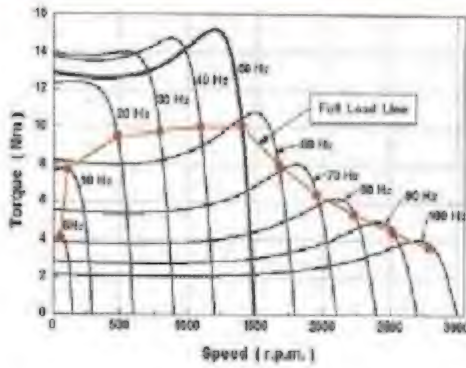
Voltage Wave Form

شكل رقم (١): مكونات متغير التردد وشكل موجة الجهد



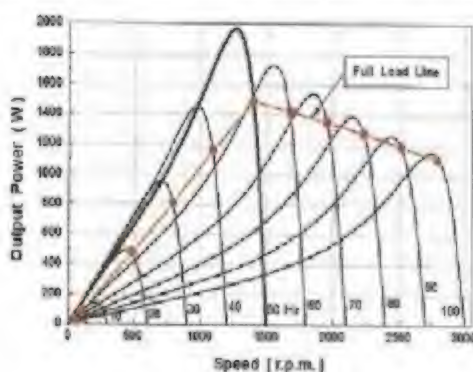
شكل رقم (٢): تغير مقادير المحرك عند ثبات النسبة بين الجهد و التردد لجميع الترددات





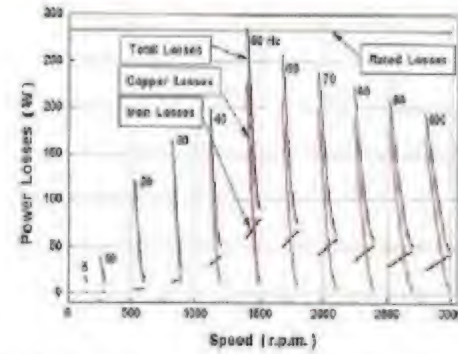
شكل رقم (٤) : تغير عزم المحرك عند الترددات المختلفة

ويتناقص بزيادة التردد... كما تتغير قدرة خرج المحرك كما في الشكل رقم (١١) حيث أمكن تثبيت القيمة العظمى للقدرة الخارج وكذلك قيمة قدرة خرج المحصل الكامل عند القيمة المثبتة وزيادةها عما كانت عليه في الشكل رقم (٧) عندما كان الجهد ثابتاً. وتتغير كفاءة المحرك بتغير عزم الحمل عند الترددات المختلفة كما في الشكل رقم (١٢) حيث تكون كفاءة المحصل الكامل عالية عند الترددات المرتفعة بينما تنخفض عند الترددات المنخفضة. ويوضح الشكل رقم (١٣) تغير معامل القدرة للمحرك عند الترددات المختلفة. وعند الحمل الكامل يكون معامل القدرة قريباً من القيمة العظمى عند جميع الترددات. وعند السلاسل يتزايد معامل القدرة في الترددات العالية وباستخدام تغير التردد للتحكم في سرعة المحركات الشاورية يلاحظ أن التحكم في السرعة يكاد يكون مثاليًا - حيث أصبح عددي تغير السرعة عربيًا جدًا - كما أن أي سرعة بينية مطلوبة بين أي سرعتين يمكن الحصول عليها بالحساسية والدقة العالية.



شكل رقم (٦) : تغير قدرة خرج المحرك عند الترددات المختلفة

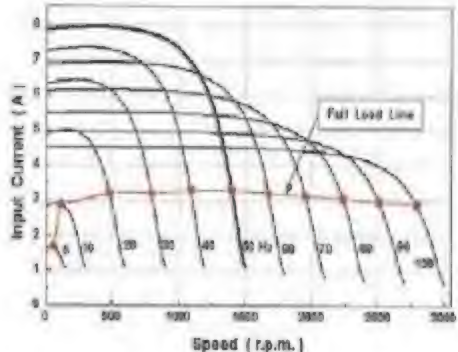
معايير المحرك بتغير عزم الحمل عند الترددات المختلفة بهذه الزيادة في الجهود حيث مازالت المعايير الكلية أقل من القيمة المثبتة التي يتحملها المحرك. وإذا زاد الجهد عن ذلك فيخشى على المحرك من زيادة التسخين المتسارع المنطوق من زيادة الترددات المنخفضة كما يخشى على المحرك في الترددات المرتفعة من زيادة المعايير الميكانيكية. وبهذا المعدل المطور لقيمة الجهد عند الترددات المنخفضة تتحسن خواص المحرك كما بالأشكال أرقام (٩) - (١٣) ، و يكون العزم الأقصى ثابتاً عند جميع الترددات المنخفضة كما في الشكل رقم (٩) ، ويرغم ذلك فإنه يمكن زيادة قيمة عزم الحمل الكامل عند الترددات المنخفضة كما في الشكل لأن المعايير الكلية مازالت أقل من المعايير المثبتة. وفي الترددات المرتفعة زادت قيمة العزم الأقصى وزادت قيمة عزم الحمل الكامل عما كانت عليه في الشكل رقم (٤) حيث كان الجهد ثابتاً. ويتغير تيار المحرك عند جميع الترددات كما في الشكل رقم (١٠) ويكون تيار الحمل الكامل أقل بقليل من القيمة المثبتة. أما تيار السلاسل فيكون عاليًا عند الترددات المنخفضة



شكل رقم (٣) : تغير معايير المحرك عند ثبات الجهد في الترددات المرتفعة وثبات نسبة الجهد إلى التردد في الترددات المنخفضة

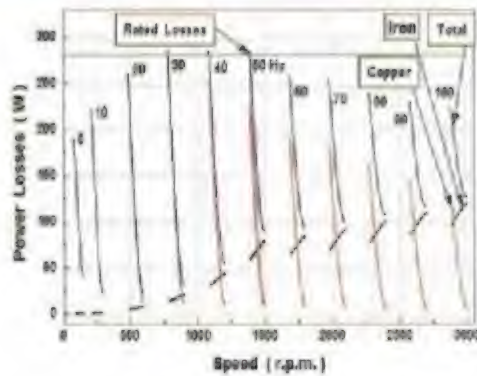
ممكناً من المحرك. لهذا يجب زيادة الجهد عن هذا المعدل (V/F ثابتة) في الترددات المنخفضة حيث نحافظ على ثبات قيمة المجال المغناطيسي وبالتالى العزم الأقصى المثبت عند جميع الترددات المنخفضة. وأيضا يجب زيادة الجهد بدلاً من تثبيته عند الترددات المرتفعة بحيث لا تزداد المعايير عن المعايير المثبتة. وقد وجد أن هذه الزيادة في الجهد تكون بالعدل الموضح في الشكل رقم (٧) حيث يبدأ الجهد عند التردد صفر بقيمة تساوي ٨٠٪ من قيمة الجهد المثبت بدلاً من الصفر. وبعض الأجهزة ترفع هذه القيمة إلى ٢٥٪ بشرط عدم الاستمرار في تشغيل المحرك عند التردد المنخفض ولكن فقط خلال فترة تعجيل المحرك عند بدء الدوران. أما منطقة الترددات المرتفعة فيجب فيها زيادة الجهد بحيث يزيد عن الجهد المثبت بنحو ٣٠٪ عند ضعف التردد المثبت (١٠٠٪/٥) بدلاً من تثبيته الجهد. وهذه المعدلات لتغير الجهد يمكن التحكم فيها بسهولة لأن معيار التردد تشتمل على معالج دقيق Micro Processor يتم حسب الحاجة. ويوضح الشكل رقم (٨) تغير

(V/F) لا يثبت التيار الذي يتناقص كلما تنخفض التردد خصوصاً في الترددات المنخفضة جداً وذلك لزيادة نسبة المقاومة إلى المحاثة التي تنقص كثيراً. وتسمى هذه المشكلة بتأثير مقاومة المحرك. وفي الترددات المرتفعة لا تظهر هذه المشكلة لزيادة نسبة المحاثة إلى المقاومة ولكن تظهر مشكلة معايير الحديد العالية. ويبين الشكل رقم (٥) انخفاض تيار الحمل الكامل في الترددات المنخفضة وانخفاضه يجعل بسيط بزيادة التردد عن التردد الرئيسي. ويلاحظ تنافس تيار الاحمال بزيادة التردد. ومن الشكل رقم (٦) يلاحظ أن قدرة الحمل الكامل لا تكون ثابتة عند الترددات المرتفعة بل تنافس. ويلاحظ من الشكل رقم (٣) أن معايير المحرك بهذا الأسلوب لتغير الجهد مع التردد تكون منخفضة عن القيمة التي يتحملها المحرك. وذلك عند زيادة أو خفض التردد عن التردد الرئيسي - الأمر الذي يتيح إمكانية زيادة الجهد عن هذا المعدل إلى القيم التي تصل عندها معايير المحرك إلى قيمة المعايير المثبتة (٢٨٢ وات في هذا المحرك) - وذلك للحصول على أكبر عزم وقدرات

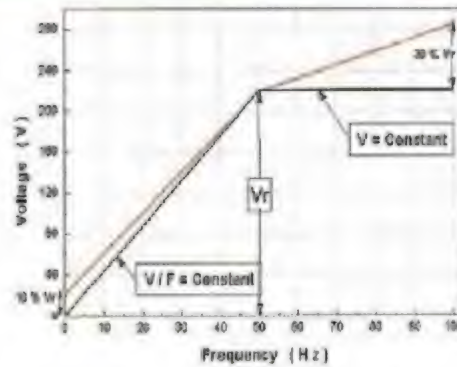


شكل رقم (٧) : تغير تيارات دخل المحرك عند الترددات المختلفة





شكل رقم (٨) : تغير مفاتيح المحرك بزيادة الجهد عن التقليدي



شكل رقم (٧) : التغير التقليدي للجهد مع التردد والتغير بزيادة الجهد

**التغير السرعة؟**  
هذا الأمر لا يمكن تحقيقه إلا إذا تم استبدال المحرك بأخر ذي قدرة أعلى بنسبة سرعة المحرك إلى أقل سرعة في المخرطة للأسباب السابقة.

٥ - هل يمكن أن يعمل تغير التردد بحيث يعطي ثلاثة أوجه إذا فصل أحد خطوط دخل الثلاثة أوجه لمغير التردد؟  
نعم. تعمل معظم مغيرات التردد في هذه الحالة لأن جهد الثلاثة أوجه أو الخطوط يتحول في بداية مراحل مغير التردد إلى تيار مستمر. تم تقطع إلى تيار متغير. مع ملاحظة أن تيار الخطوط سوف يزداد بنسبة ١.٢٢، ولهذا فيجب أن تكون قنطرة التوحيد في مغير التردد مصممة لتحمل هذا التيار الزائد. كما يلاحظ أن جهد الخارج سوف ينخفض إلى نحو ٧٠٪.

٦ - هل يمكن أن يعمل مغير التردد الذي يعطي ثلاثة أوجه على متابع ذي وجه واحد؟  
نعم يمكن ذلك في معظم أنواع مغيرات التردد. مع ملاحظة أن جهد خط الثلاثة أوجه في الخارج سوف يساوي جهد دخل الوجه الواحد. ومعظم مغيرات التردد تقبل العمل على متابع جهده أقل من الجهد المعلن بنسبة تصل إلى ٢٠٪.

٧ - هل يمكن تشغيل محرك السوجة

حتى يعطي نفس عزم محرك التيار المستمر. وتكون الزيادة في قدرة المحرك التآثري عن محرك التيار المستمر بنسبة سرعة التزامن ٣٠٠٪ أي مرة ونصف قدرة محرك التيار المستمر. وهكذا يمكن حساب قدرة المحرك البديل. إذا كان الحمل يعمل عند سرعة ٣٠٠ لفة / دقيقة باستخدام محرك تآثري ١٥٠٠ لفة / دقيقة مع صندوق تروس لخفض السرعة إلى ٣٠٠ لفة / دقيقة. فهل يمكن الاستغناء عن صندوق التروس للتحلل من مشاكله واستخدام مغير التردد لخفض سرعة المحرك إلى ٣٠٠ لفة / دقيقة؟

هذا الاستبدال لا يمكن عمله إلا إذا تم استبدال المحرك بأخر قدرته أكبر بنسبة ١٥٠٠ / ٣٠٠ أي خمسة أضعاف. وذلك لأن صندوق التروس كان يزداد العزم بنسبة سرعة المحرك إلى سرعة الحمل. أما باستخدام مغير التردد فإنه يخفض سرعة المحرك يبقى العزم الذي يمكن أن يعطيه للحمل بنفس القيمة التي كانت عند سرعة المحرك المقتنة (١٥٠٠ لفة / دقيقة).

٤ - هل يمكن استخدام المحرك التآثري مع مغير التردد في المخارط والاستغناء عن صندوق التروس

الشكل. وعلى ذلك، فإذا كان عزم الحمل كبيراً في السرعات المنخفضة فيستخدم محرك بعدد أقطاب أكثر من اثنين حسب قيمة هذا العزم. أما إذا كان عزم الحمل صغيراً في السرعات المنخفضة - مثل الحمل المروحي - فيفضل استخدام محرك ذي قطبين لأن كفاءته ومعامل قدرته تكون أكبر من باقي المحركات في السرعات العالية.

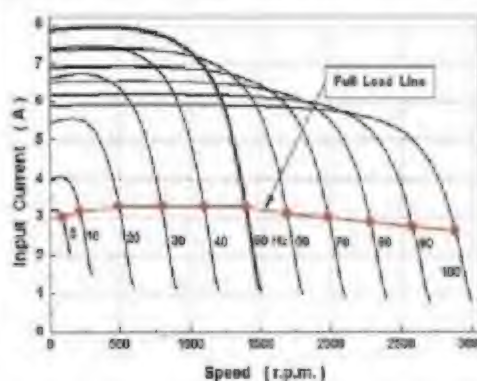
٢ - ما هو المحرك المناسب عندما نستبدل محرك تيار مستمر بمحرك تآثري معه مغير تردد بهدف التخلص من مشاكل محركات التيار المستمر وتكاليف صيانتها العالية؟

في هذه الحالة، إذا كان محرك التيار المستمر ذا سرعة مقتنة في حدود ١٥٠٠ لفة / دقيقة، فيتم اختيار محرك تآثري ذا أربعة أقطاب بنفس القدرة. لأن قيم أقصى عزم للحمل تكون واحدة في الحالتين. أما إذا كانت السرعة المقتنة في حدود ٢٠٠٠ لفة / دقيقة لمحرك التيار المستمر فيكون المحرك التآثري البديل ذا قطبين بنفس القدرة. وإذا كان محرك التيار المستمر ذا سرعة بين سرعتين تزامنتين للمحرك التآثري - مثل ٢٠٠٠ لفة / دقيقة - فيكون المحرك التآثري البديل ذا قطبين (ذا سرعة تزامن أعلى من سرعة محرك التيار المستمر) ولكن ذا قدرة أكبر من قدرة محرك التيار المستمر

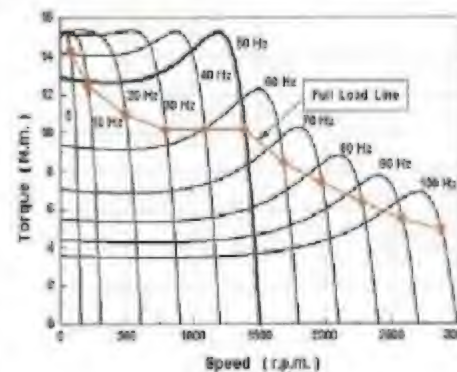
## تساؤلات من الخبرة العملية

١ - ما هو عدد الأقطاب المناسب للمحرك الذي يستخدم معه مغير تردد للتحكم في السرعة؟

يرجع هذا التساؤل إلى أن المحرك ذي القطبين يمكنه الدوران بسرعة قريب ٦٠٠٠ لفة / دقيقة عند تردد ١٠٠ هرتز. والمحرك ذي الأربعة أقطاب يمكنه الدوران بنفس السرعة عند تردد ٢٥٠ هرتز. والمحرك ذي الستة أقطاب يدور بنفس السرعة عند تردد ١٦٦ هرتز. وهكذا، ويمكن لمغير التردد أن يعطي بسهولة تردداً يتراوح بين الصفر وأكثر من ٤٠٠ هرتز. وعلى ذلك فإن أي محرك يمكن أن يدور بأي سرعة. قبل يفضل محرك على آخر عندما يقتضيه عدد الأقطاب والإيجابية. نعم. يفضل محرك على آخر حسب طبيعة وصاحبة الحمل. وفي الشكل رقم (١٤) نجد أن عزم الحمل الكامل للأربعة محركات (٢ و ٤ و ٦ و ٨ أقطاب) يكون بنفس القيمة في السرعات الأعلى من نحو ٢٨٠٠ لفة / دقيقة. أما في السرعات الأقل فإن المحرك ذي الأربعة أقطاب يتحمل عزم حمل ضعف ما يتحمله المحرك ذو القطبين. وكلما زاد عدد الأقطاب زادت قيمة العزم الذي يمكن تحمليه على المحرك كما في

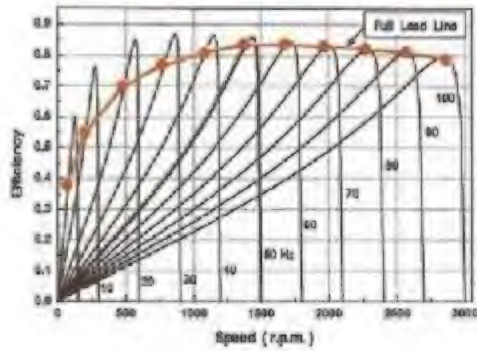


شكل رقم (١٠) : تغير تيارات المحرك عند الترددات المختلفة بزيادة الجهد

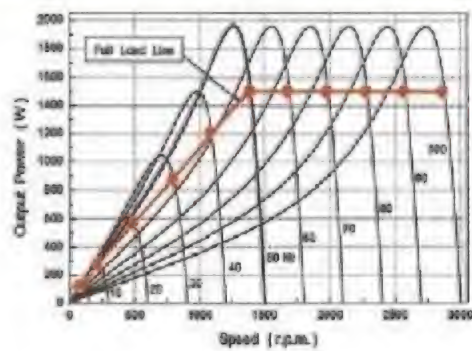


شكل رقم (٩) : تغير عزم المحرك عند الترددات المختلفة بزيادة الجهد





شكل رقم (١٢): تغير كفاءة المحرك عند الترددات المختلفة بزيادة الجهد



شكل رقم (١١): تغير قدرات خرج المحرك عند الترددات المختلفة بزيادة الجهد

للمحرك وذلك بطريقة تسمى توجيه المجال المغناطيسي (Field Oriented Control) كما أن بعض الأجهزة الحديثة تشعر بقيمة العزم الميكانيكي الصلطي على المحرك لتعطى جهداً للمحرك يناسب هذا العزم وهذا الحمل. وعلى سبيل المثال إذا كان عزم الحمل صغيراً فإن هذه الأجهزة تعطي جهداً صغيراً للمحرك وإذا زاد العزم يزداد الجهد.

١٢ - ما هي عيوب مغير التردد؟  
تتعمل أهم عيوب مغير التردد في ارتفاع الثمن الذي يصل إلى نحو أربعة أمثال ثمن المحرك نفسه.. وكان منذ نحو عشر سنوات في حدود خمسة عشر ضعف ثمن المحرك.. وهو في ميسر مستمر مع زيادة التطور في مكونات المغير. وأما العيب الثاني فهو وجود توافقيات في جهد خرج المغير تؤدي إلى زيادة مساقيد المحرك ورفع درجة حرارته مما يؤدي في بعض الأحيان إلى تحميل المحرك بحمل اقصاد أقل من القيمة المقننة للمحرك حيث تصل إلى نحو ٩٠٪. ومع التطور في هذه المغيرات تتحسن الحوجة أكثر وتقترب نسبة التحميل من الحمل الكامل للمحرك..

في العدد القادم:  
التحكم في السرعة  
مع توجيه المجال المغناطيسي

المحرك من بعض المشاكل مثل زيادة الحمل؟

كل جهاز يجب أن يكون مزوداً بالحماية من زيادة التيار عن القيمة المقننة للجهاز ذاته. ومعظم الأجهزة تتبع إمكانية تغير قيمة أقصى تيار حسب تيار المحرك ذاته. أما حماية المحرك من أية مشاكل أخرى فتتكفل بها أجهزة أخرى.

١٢ - ما هي الإمكانات الإضافية التي يوفرها مغير التردد؟

تختلف هذه الإمكانيات حسب نوع الجهاز. وهذه الإمكانيات مثل: إيقاف المحرك باستخدام الفرملة الذاتية بالتيار المستمر - إيقاف المحرك بإنقاص السرعة تدريجياً بإنقاص التردد (Jog) - إمكانية إلغاء سرعة معينة أو مدى معين للسرعة لا يجب أن يدور بها المحرك حيث يحدث رجح ميكانيكي بسبب اهتزازات ميكانيكية عالية - اختيار قيمة التردد الأساسي حسب ما هو مقنن للمحرك - عكس اتجاه الدوران للمحرك - تثبيت جهد الخرج عند قيمة معينة مهما تغير جهد الدخل في حدود معينة - تغير معدل تغير الجهد مع التردد وذلك طبقاً لطبيعة الحمل. وحينئذ تقوم بعض الأجهزة بتحسين خواص المحرك لكي يعطى أكبر عزم ممكن بأقل تيار حتى تتحسن الكفاءة ومعامل القدرة

السرعة. وفي هذه الحالة يفضل خفض الجهد عن هذا المعدل في السرعات المنخفضة وذلك لتحسين كفاءة المحرك ومعامل القدرة.

٩ - إذا كان محرك جهده ٦٠٠٠ ف يعمل على مئذع ٣٨٠ ف باستخدام محول لرفع هذا الجهد.. هل يمكن استخدام مغير التردد في هذه الحالة؟

نعم.. إذ أن مغير التردد - جهد ٢٨٠ ف - يوضع قبل المحرك ويعمل بنفس الأسلوب كما لو كان المحرك والمحول وحدة واحدة تمثل محرك.

١٠ - عند استخدام مغير التردد مع المحرك التآثيري ثلاثي الأوجه.. هل يحتاج المحرك لوسيلة بدء الحركة مثل مفتاح نجمة / دلتا أو صانعات القوا؟

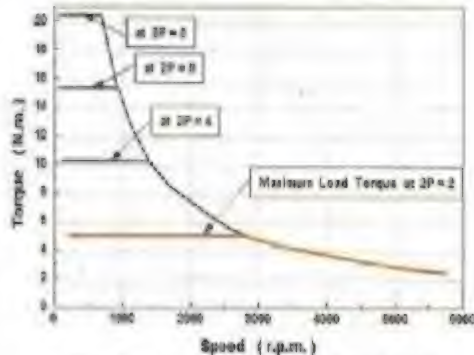
لا يحتاج المحرك لوسيلة بدء الحركة لأنه يبدأ الدوران بتردد منخفض يتزايد إلى التردد المطلوب أتموتاتيكياً بمعدل تزايد يتم تعديده حسب الرغبة تبعاً لقدرة المحرك وعزم القصور الذاتي للمحرك والحمل.. وذلك باختيار قيمة زمن التسارع Acceleration Time ويتم زيادة التردد مع الزمن بمعدل خطي ثابت. وبعض الأجهزة يزيد فيها التردد بمنحنى على شكل حرف (S) وذلك لإحداث بدء ناعم. ١١ - هل يقوم مغير التردد بحماية

الواحد التآثيري على مغير التردد؟

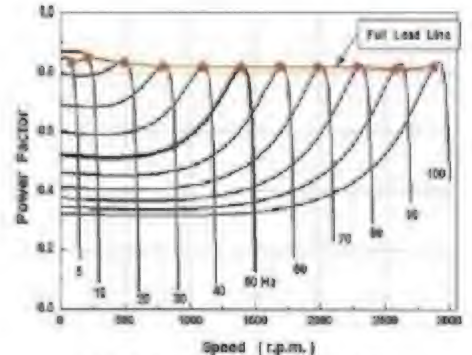
في هذه الحالة يجب دراسة الموضوع بدقة لكل نوع من محركات الوجه الواحد.. حيث يعمل النوع ذو القطب المثلث Shaded Pole على مغير التردد بنفس الأسلوب الذي تعمل به محركات الثلاثة أوجه.. أما النوع ذو الوجه المشطور Split Phase فإنه إذا تم تخفيض السرعة يخفض التردد عن ٥ ٪ / ث فإن مفتاح الطرد المركزي سوف يوصل ملفات البدء وسوف تخرج هذه الملفات وتفس المشكلة تحدث مع المحرك ذي مكثف البدء Capacitor Start والمحرك ذي مكثف البدء مع مكثف دوران.. أما المحرك ذي مكثف الدوران Capacitor Run فإنه يحتاج إلى مكثف ذي سعة أكبر مع خفض التردد عن التردد المقنن. كما يحتاج إلى مكثف ذي سعة أقل عند زيادة التردد عن المقنن.

٨ - هل يجب الالتزام بمعدل تغير الجهد مع تغير التردد الموضح سابقاً؟

يتم الالتزام بهذا المعدل عند الحاجة لتحميل المحرك حتى أقصى قيمة ممكنة للعزم والقدرة وذلك عندما يتغير الحمل على المحرك.. أما إذا كان الحمل من نوع واحد مثل الحمل التروحي فإنه يحتاج إلى عزم قليل في السرعات المنخفضة.. ويتزايد العزم مع زيادة



شكل رقم (١٤): تغير عزم الحمل الكامل مع السرعة لمحركات بنفس القدرة وعدد مختلف من الأقطاب



شكل رقم (١٣): تغير معامل قدرة دخل المحرك عند الترددات المختلفة بزيادة الجهد



# التحكم في سرعة المحركات الكهربائية مع توجيه المجال المغناطيسي

د. فتحي عبد القادر

رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شيبين الكوم

ثابت القيمة وينظر المجال المغناطيسي من أقطاب محركات التيار المستمر. أما العضو الثابت في المحرك التزامنسي فينتج عنه مجال دائري تتوقف سرعته على تردد المنبع. وهذا المجال الدائري هو مجال لأقطاب تدور في الفراغ، ويمكن تسريع دوراتها أو إبطاؤها بزيادة التردد أو إنقاصه. كما يمكن تقديدها أو تأخيرها ببدء موجة التيار سبكراً أو تأخيرها. وذلك تبعاً لوقت إضعال وحدات التايستور في المفير Inverter.

ومن الدائرة المكافئة للمحرك التزامنسي ورسم المنهجيات الموضح في الشكل رقم (٣). نجد أن المحرك التزامنسي عندما يعمل بحيث يكون تيار العضو الثابت  $I_a$  متقدماً عن الجهد  $V$  بزاوية  $\theta$  - الشكل رقم (٣ ب) - وبإضافة هبوط الجهد في مقاومة عضو الاستنتاج  $I_a R_a$  وهبوط الجهد في الممانعة التزامنسية  $I_a X_m$  على القدرة المتقدمة  $V$  الكهربية  $E_m$  نحصل على جهد المنبع  $V$ . وتكون  $E_m$  متقدمة عن اتجاه مجال الأقطاب  $\Phi_r$  الناتج من تيار الأقطاب  $I_a$  بزاوية  $\theta$ . كما يتقدم الجهد  $E_m$  عن  $V$  بزاوية  $\delta$ .

وبلاحظ. أن المجال المغناطيسي للعضو الثابت  $\Phi_s$  يكون في اتجاه تياره  $I_a$ . والزاوية بينه وبين مجال العضو الدائر أقل من  $90^\circ$  بمقدار  $(\theta + \delta)$  وهذا هو العيب الرئيسي حيث يفضل أن تكون هذه الزاوية  $90^\circ$  بين المجالين. ولكن يحدث ذلك يجب أن

الاحمل وتتزايد بزيادة الحمل على المحرك وتصل إلى  $90^\circ$  عند أقصى حمل.

ونظراً لأن هذه الزاوية تتغير بتغير الحمل في محركات التيار المتردد وتبقى ثابتة عند أفضل قيمة لها  $90^\circ$  - في محركات التيار المستمر - فإن تيار عضو الاستنتاج في محركات التيار المستمر يتزايد من الصفر خطياً بزيادة الحمل. وفي محركات التيار المتردد يكون التيار عالياً عند الأحمال الصغيرة ويتزايد ببطء أكثر مع زيادة الحمل كما في الشكل رقم (٢). وهذا مايعبر عنه بأن قيمة العزم للإمبير Torque/Ampere في محركات التيار المتردد تكون منخفضة عنها في محركات التيار المستمر. ولهذا تستخدم عدة منظومات لزيادة قيمة العزم للإمبير في محركات التيار المتردد وذلك بجعل الزاوية الفراغية بين مجال العضو الثابت ومجال العضو الدائر  $90^\circ$  باستمرار وعند أي قيمة للحمل على المحرك. وهو مايسمى بالتحكم بتوجيه المجال Field Oriented Control أو التحكم الاتجاهي Vector Control والذي يؤدي إلى إنقاص تيار المحرك وتحسين الكفاءة وزيادة قدرة الفرج، وسوف نوضح ذلك لكل من المحركات التزامنسية والمحركات التآثرية.

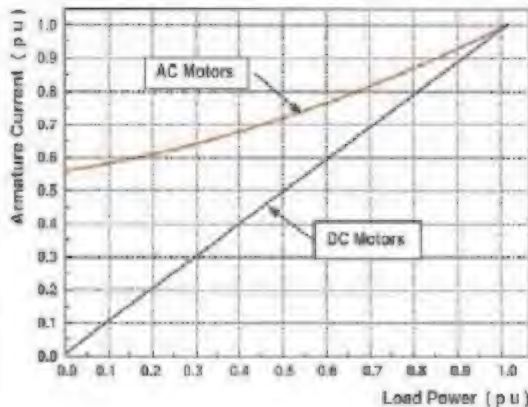
## أولاً: التحكم بتوجيه المجال في المحركات التزامنسية

ينتج المجال المغناطيسي للعضو الدائر في هذا المحرك من تيار مستمر

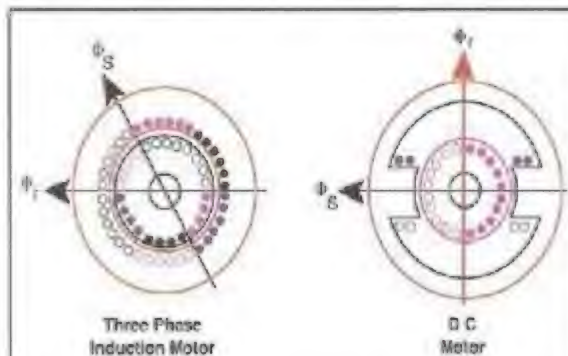
المستمر تكون الزاوية الزمنية بين المجالين مساوية للصفر لأن المجال ناتج من تيار مستمر فتكون  $\cos \theta = 1$ . أما في بعض أنواع محركات التيار المتردد فإن  $\theta$  تكون أكبر من الصفر وبالتالي تكون  $\cos \theta$  أقل من الواحد الصحيح مما يعتمد زيادة أي من  $\Phi_r$  أو  $\Phi_s$  بزيادة التيار للحفاظ على نفس العزم. كما أن الزاوية الفراغية  $\beta$  تكون  $90^\circ$  درجة دائماً في محركات التيار المستمر فتكون  $\sin \beta = 1$ . بينما تقل  $\beta$  عن  $90^\circ$  في حالة محركات التيار المتردد مما يؤدي إلى زيادة أخرى يجب تحقيقها في المجالات والتيارات للمحافظة على نفس العزم.

ويتضح من الشكل رقم (١) اختلاف الزاوية الفراغية في محركات التيار المستمر عن محركات التيار المتردد حيث يصنع محور مجال أقطاب العضو الثابت زاوية في الفراغ مع محور أقطاب العضو الدائر مقدارها  $90^\circ$ . وتكون جميع الأقطاب ثابتة في الفراغ ولا تدور. أما في محركات التيار المتردد فإن الأقطاب الناتجة من كل من العضو الثابت والعضو الدائر تدور بسرعة تسمى سرعة التزامن سواء كان المحرك من النوع التزامنسي Synchronous أو من النوع التآثري Induction. ودائماً توجد زاوية فراغية بين محور أقطاب العضو الثابت ومحور أقطاب العضو الدائر أقل من  $90^\circ$ . وهذه الزاوية الفراغية معروفة في المحركات التزامنسية باسم زاوية العمل Load Angle. ومعروف أن هذه الزاوية تكون قريبة من الصفر عند

تختلف المحركات الكهربائية في إمكانية وسهولة التحكم في سرعتها. حيث تكون محركات التيار المستمر هي الأكثر سهولة في التحكم بأقل التكاليف عن محركات التيار المتردد. ولكن العيوب الرئيسية لمحركات التيار المستمر تتركز في ارتفاع ثمنها وتكاليف صيانتها. ولهذا فقد بذلت محاولات متعددة في صورة بحوث تطبيقية لجعل محركات التيار المتردد قابلة للتحكم في سرعتها بدقة وحساسية عالية خلال مدى كبير للتعديل في السرعة. وتم ذلك باستخدام مغيرات التردد Frequency Converters التي يتناقص ثمنها باستمرار مع التطور المطرد في الصناعات الإلكترونية. الذي أدى إلى التغلب على مشكلة صعوبة التحكم في سرعة هذه المحركات. ولكن بقي عيب رئيسي فيها مقارنة بمحركات التيار المستمر تمثل في زيادة التيارات بالنسبة للعزم الذي يعطيه المحرك. مما يقلل من كفاءة المحرك ومعامل القدرة. وبمعنى آخر. يلاحظ أن العزم  $T$  الذي يعطيه أي محرك مهما كان نوعه يتناسب مع كل من مجال العضو الثابت  $\Phi_s$  ومجال العضو الدائر  $\Phi_r$  جيب تمام الزاوية الزمنية بين مجال العضو الثابت ومجال العضو الدائر  $\cos \theta$ . جيب الزاوية الفراغية بين مجال العضو الثابت ومجال العضو الدائر  $\sin \beta$ . أي أن  $T \propto \Phi_s \Phi_r \cos \theta \sin \beta$ . ومجال العضو الثابت  $\Phi_s$  يتناسب مع تيار العضو الثابت. ومجال العضو الدائر يتناسب مع تيار العضو الدائر. وفي محركات التيار



شكل رقم (٢): تغير تيار عضو الاستنتاج مع تغير الحمل في محركات التيار المستمر والمتردد



شكل رقم (١): الزاوية الفراغية بين مجال العضو الثابت ومجال العضو الدائر في محركات التيار المستمر والمتردد



التيار وتتغير الزاوية بين المجالين عن ٩٠ .. وتقوم إشارة معدل التيار وإشارة Encoder بتعديل الزاوية إلى ٩٠.

وحيثاً .. تم أيضاً الاستغناء عن Encoder بحساب قيمة الزاوية بين المجالين بدلاً من قياسها بواسطة Encoder وذلك حتى يتم الاستغناء عن هذا الجزء الميكانيكي الكهربي لشاكل الصيانة الملازمة له .. وتصبح المنظومة في هذه الحالة بدون حساسات Sen-sors.

ولكن تتم كل هذه العمليات الحسابية بدقة خصوصاً وأنها تجري باستمرار طوال فترة تشغيل المحرك - أي والمحرك موصول بالمغنيط الكهربي On Line .. فإن ذلك يتطلب معرفة جميع مقومات ومعاينات المحرك .. ليس فقط مرة واحدة خلال بداية تشغيل المنظومة .. ولكن يجب قياسها دائماً وباستمرار لأنها تتغير بتغير عزم وسرعة وجهد المحرك.. ولذا يتم قياسها بالحساب من قياسات تجري على المحرك وهو On Line .. وكذلك بالاستعانة ببيانات المحرك التي تغذي المنظومة مرة واحدة عند التشغيل لأول مرة مع أي محرك. ويمكن الاستفادة من معرفة قيمة Ea وزاويتها بالقياس بواسطة ملف صغير Search Coil لكل وجه أو حساب هذه القيم عندما تكون المنظومة بدون حساسات. وهذه المنظومة مع تعقيدها الشديد في العمليات الحسابية وبرمجتها.. إلا أن معالجتها تتم بسرعة عالية جداً وذلك للتطور في سرعة الحاسبات الدقيقة ووجود بدائل للترانزستور أكثر استجابة وتتصل العمل بترددات عالية جداً.

والمعروف أن الترانزستور التقليدي يتحمل ترددات حتى ١ ك هرتز .. والترانزستور من نوع GTO يتحمل حتى ٢ ك هرتز .. والترانزستور من نوع MCT يتحمل حتى ١٠ ك هرتز .. والترانزستور من نوع BJT أو IGBT يتحمل ٣٠ ك هرتز .. والترانزستور من نوع MOSFET يتحمل حتى ١٠٠٠ ك هرتز.

الخارج من المفرد Inverter. كما تعقب نتيجة الحسابات أيضاً كلفيات لإشعال ثايرستورات المفرد في الزمن المحسوب لتحديد زمن تيار كل وجه وبالتالي زمن وموضع مجال العضو الثابت.

وعلى ذلك.. فإن Encoder يقوم بعملية تغذية خلفية Feed Back للمنظومة وبالتالي يحدد موضع مجال أقطاب العضو الثابت لتبقى دائماً صانعة زاوية ٩٠ مع مجال العضو الدائر.

ولكن.. ما هي قيمة عزم المحرك؟ هناك خطأ شائع يقول إن عزم المحرك يتحدد بتحديد قيمة أمر العزم Torque Command - (شكل رقم ٤) - يمثل مانحده به أي جهد أساسي Refer- ence Voltage في أي دائرة تحكم .. وبزيادة قيمة أمر العزم يزيد جهد المحرك وتياره وبالتالي عزمه. وهذا كله خطأ لأن العزم الذي يعطيه المحرك يحدده الحمل الميكانيكي فقط ومهما زاد أو نقص جهد المحرك يبقى عزم المحرك مساوياً لعزم الحمل. ولو كان عزم الحمل ثابتاً مثلاً ثم زاد الجهد.. فإن التيار ومجال العضو الثابت سوف يزدادان ولكن تتغير الزاوية بين مجال العضو الثابت ومجال العضو الدائر بحيث يبقى عزم المحرك ثابتاً لتثبيت عزم الحمل.

وعلى ذلك .. فالذي يحدث في هذه المنظومة إذا زاد عزم الحمل أن يقوم جهاز قياس العزم Torque Transducer الذي يركب على محور الدوران بين المحرك والحمل بقياس عزم العمل الجديد وإعطاء إشارة كهربية بذلك وهي إشارة أمر العزم Torque Com-mand التي تعتبر كغذية خلفية للمنظومة لمعالجة الزيادة في العزم بتعديل قيم الجهود والتيارات والزاوية الزمنية للتيارات وبالتالي يحافظ على بقاء الزاوية بين مجال العضو الثابت والعضو الدائر ٩٠ .. إلا أنه يفضل الاستعاضة عن جهاز قياس العزم - لأنه جزء ميكانيكي كهربي يحتاج إلى صيانة ومشاكله كثيرة - باستخدام محول تيار Current Transducer يعبر عن قيمة تيار المحرك.. وبالتالي فإنها بتقدير العزم على المحرك بتقدير

هناك عدة طرق لتحقيق ذلك .. ففي الشكل رقم (٤) نجد أن محور الدوران للمحرك يركب به جزء خارج جسم المحرك يسمى Encoder. يعطى نبضات كهربية Pulses يتم التعرف منها على موضع أقطاب العضو الدائر .. وهذا الجزء.. توجد منه عدة أنواع مثل النوع الذي يعمل بتأثير ضوء لبة يركب في مكان ثابت ويتحرك أمام هذا الضوء قرص مثبت في محور الدوران به ثغوب تقع أمام أقطاب العضو الدائر .. وعند وصول الثقب لموضع ضوء اللبة يمر الضوء عبر ثقب القرص إلى الجهة الثانية منه ليمس على صمام ثنائي ضوئي Photo Diode أو ثنائيستور ضوئي Photo Transistor فتحدث نبضة كهربية تستخدم لتعيين موضع أقطاب العضو الدائر وبالتالي تحديد زمن بدء تيارات العضو الثابت بحيث يضمن مجال العضو الثابت زاوية ٩٠ مع مجال العضو الدائر.

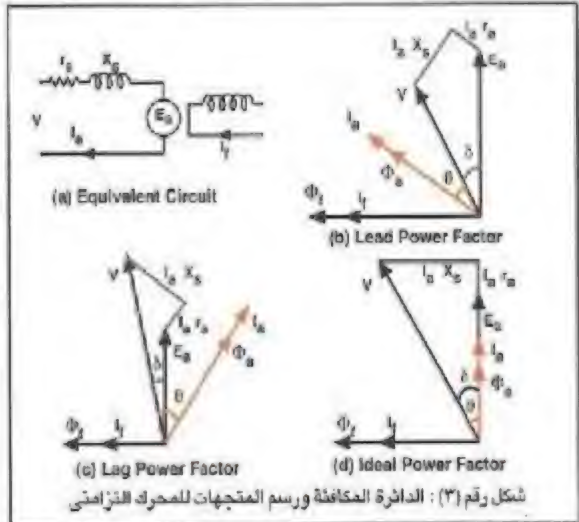
ويوجد Encoder من نوع آخر يستخدم المجال المغناطيسي بدلاً من الضوء حيث يثبت بالقرص شريحة صديدية رقيقة تكمل الدائرة المغناطيسية ملف ثابت في الفراغ بدلاً من اللبة والثرانزستور الضوئي .. وتحدث نفس النتيجة الكهربية الدالة على موضع أقطاب العضو الدائر.

ولكن يتم تحديد زمن بدء تيارات العضو الثابت.. فيلاحظ أنه إذا أردنا إمرار تيار معين بزاوية زمنية معينة في كل وجه من أوجه العضو الثابت.. فيجب أن نحدد أولاً قيمة كل مقاومة وقيمة كل مفاعلة ثم نحسب الجهد اللازم لإمرار التيار المطلوب بقيمته وزمنه .. حيث تذهب هذه النتيجة كغضيات لإشعال ثايرستورات دائرة التوحيد Converter - (شكل رقم ٤) - وذلك لتحديد قيمة جهد التيار المستمر الذي يؤثر على قيمة جهد التيار المتغير

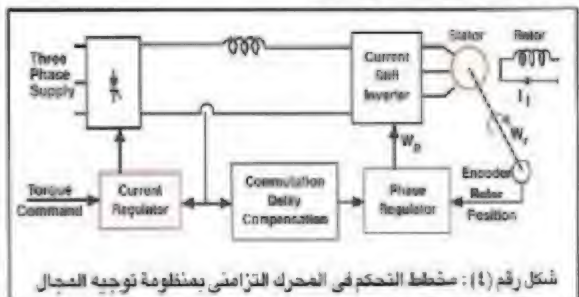
بتأخره بزاوية  $(\theta + \delta)$ . كما أننا نجد أن عزم المحرك عند تيارها يساوي تماماً نفس العزم إذا كان  $I_a$  في اتجاه Ea ولكن بقيمة أقل مقدارها  $I_a \cos(\theta + \delta)$  أي أنه يتحلل التيار  $I_a$  إلى مركبتين إحداهما في اتجاه Ea التي تنتج العزم .. والثانية  $I_a \sin(\theta + \delta)$  لا تنتج عزمًا ولهذا يجب ملاحظتها حتى يقل Ea وتتحسن خواص المحرك. وفي الشكل رقم (٣ج) إذا كان التيار  $I_a$  متأخرًا عن الجهد بزاوية  $\theta$  .. فإنه يتأخر عن Ea بزاوية  $(\theta + \delta)$  وتكون مركبة التيار في اتجاه Ea هي  $I_a \cos(\theta + \delta)$  - المركبة التي تحدث العزم - أما المركبة  $I_a \sin(\theta + \delta)$  فيجب ملاحظتها لتحسين خواص المحرك.

وفي الشكل رقم (٣د) يكون التيار في اتجاه Ea.. نلاحظ أنه لا توجد له مركبة عمودية على هذا الاتجاه .. ويكون التيار متأخرًا عن V بزاوية  $\delta$  مساوية للزاوية بين V وEa. وهذا الوضع هو ما يجب تحقيقه عند أي تردد وعند أي قيمة لعزم الحمل. ولكن.. ماذا يحدث في هذا الوضع إذا كان عزم الحمل ثابتاً ويقوم الجهاز بالمحافظة على أن يكون اتجاه  $I_a$  في اتجاه Ea. وتم انقاص تيار مجال العضو الدائر  $I_r$  في هذه الحالة سوف تقل Ea. وحيث أن جهد المنبع V ثابتاً فإن كلاً من هبوط الجهد  $I_a R_a$  و  $I_a X_s$  سوف يزداد وهذا يعني زيادة  $I_a$  أي أنه إذا نقص  $I_r$  يعوضه  $I_a$  بالزيادة بنفس الأسلوب الذي كان يتم مع مركبات التيار المستمر كما كان الهدف من هذه المنظومة.

ولكن.. كيف نحافظ على بقاء الزاوية بين مجال العضو الثابت ومجال العضو الدائر عند ٩٠ عند أية قيمة للمحور.. بل وعند أي تردد لازم للحصول على سرعة معينة؟



شكل رقم (٣): الدائرة المكافئة ورسم المتجهات للمحرك التزامني



شكل رقم (٤): مخطط التحكم في المحرك التزامني بمنظومة توجيه المجال





## أخيراً: التحكم بتوجيه المجال في المحركات التآثيرية

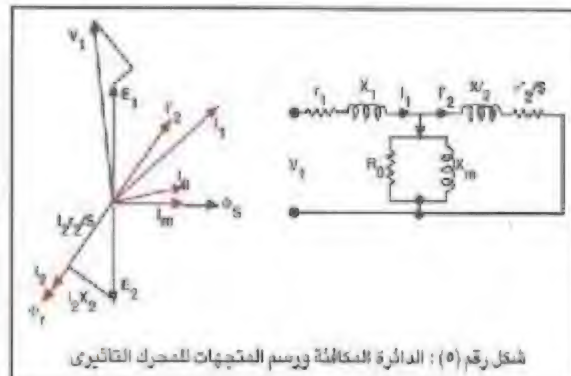
يجب أن تتحقق نفس الاهداف التي تحققت بتوجيه المجال في المحركات التزامنية بتوجيه المجال في المحركات التآثيرية . إلا أن هناك اختلافات جوهرية بين المحركين تؤدي إلى صعوبة الحسابات أكثر في المحركات التآثيرية لأن الاقطاب في العضو الدائر في المحرك التزامني يكون موضعها ثابتاً بالنسبة لجسم العضو الدائر أما في المحرك التآثيري فإن الاقطاب العضو الدائر تدور بالنسبة لجسم العضو الدائر بسرعة تتوقف على قيمة الانزلاق Slip التي تتغير بتغير الحمل .. وبالتالي فإن أي Encoder يركب على عمود الدوران لا يستطيع تحديد موضع اقطاب العضو الدائر مباشرة .. ولكن بمعرفة السرعة - بالقياس أو بالصواب - ومعرفة التردد وعدد اقطاب وزمن التشغيل يمكن حساب موضع اقطاب العضو الدائر . كما أن عدد اقطاب العضو الدائر .. في المحرك التآثيري تستنتج من اقطاب العضو الثابت . أما في المحرك التزامني .. فإن اقطاب العضو الدائر تكون مستقلة عن اقطاب العضو الثابت .. ولهذا فإنه إذا تم تقديم أو تأخير اقطاب العضو الثابت في المحرك التآثيري فإن اقطاب العضو الدائر تتبعها تلقائياً وتتحرك في نفس الاتجاه . فبذلك فإن تحقق توجيه المجال في المحرك التآثيري يعطى زاوية  $\theta$  مع اتجاه مجال العضو الدائر وتكون أقل من  $\theta_0$  في المحرك التآثيري العادي بدون توجيه للمجال.

نجد أن منطقى التعوييق المغناطيسى Hysteresis Loop لوقائى تحديد العضو الدائر يكون ذا عرض أو اتساع معين يجعل تغير اقطاب العضو الدائر يتأخر زمن عن زوايا التعوييق المغناطيسى ويعنى

آخر .. فإن كثافة مجال العضو الدائر B لا تكون في نفس الاتجاه الزمنى لشدة مجال العضو الدائر H . بل تتأخر عنها بزاوية تساوى عرض منحنى التعوييق المغناطيسى . كما أن ثابت الزمن Time Constant للعضو الدائر يؤدي إلى تأخر H للعضو الدائر عن H للعضو الثابت مما يضيف تأخراً ثانياً لكثافة مجال العضو الدائر B . وهذا التأخر كله يتبع إمكانية تحريك اقطاب العضو الثابت تقديمياً وتأخيراً دون أن تتمكن اقطاب العضو الدائر من اللحاق بها في نفس اللحظة . وبذلك نستطيع من إيجاد الزاوية  $\theta_0$  والمحافظة على قيمتها عند أي سرعة وأية حمل .. بعمليات قفز لمجال العضو الثابت تتم بسرعة عالية جداً.

وتتضح قيمة الزاوية بين المجالين في ظروف التشغيل المختلفة للمحرك التآثيري من الدائرة المكافئة ورسم المتجهات للمحرك في الشكل رقم (٥) . حيث يكون اتجاه مجال العضو الثابت  $\Phi_r$  في اتجاه تيار المغنطة Im ويكون اتجاه مجال العضو الدائر  $\Phi_r$  في الزاوية  $\theta$  بين  $\Phi_r$  لتساوى  $\theta_0$  . ولكن تكون  $\theta_0$  يجب أن يكون  $\theta$  في اتجاه القوة الدافعة الكهربية للعضو الدائر  $E_d$  وهو مالا يتحقق أيضاً في الحالة المستقرة Steady State للمحرك توجد مقاومة وممانعة للعضو الدائر .. ولكن تتحقق فقط في الحالات الانتقالية Transient للمحرك وذلك بتطبيقات التيار إلى نبضات عرضها صغير بحيث تكون نصف الموجبة من موجبة من النبضات.

ويلاحظ أن تيار العضو الثابت في هذه الحالة يكون من تيار المغنطة Im في اتجاه مجال العضو الثابت .. وتسمى هذه المركبة باسم أمر المجال Flux Command . والتيار الثاني هو التيار  $I_2$  المتأخر لتيار العضو الدائر  $I_d$  عندما يكون في اتجاه  $E_d$  . ويسمى هذا التيار باسم مركبة العزم أو أمر العزم Torque Command .



شكل رقم (٥): الدائرة المكافئة ورسم المتجهات للمحرك التآثيري

PROCESSOR يعمل ببرامج تقوم بتحديث حسابات حسالة المحرك باستمرار بعدد من المرات يصل إلى ٤٠ ألف مرة في الثانية الواحدة . ونتيجة لهذا التحديث المستمر في حسابات حالة المحرك ومقارنتها بحالته الفعلية .. فإن المنظومة تقوم باستمرار باختيار أفضل عمليات فصل وتوصيل في المغير Inverter . وتستطيع أن تستجيب وتتفاعل مع أية تغيرات سريعة أو مفاجئة في الحمل الميكانيكي للمحرك أو أية تغيرات في جهد المنبع الكهربى الرئيسى.

وتقوم منظومة DTC بالتحكم وضبط قيمة مركبة المجال Flux Command ومركبة العزم Torque Command لتيار العضو الثابت في المحرك تبعاً لقيمة عزم الحمل والسرعة المطلوبة.

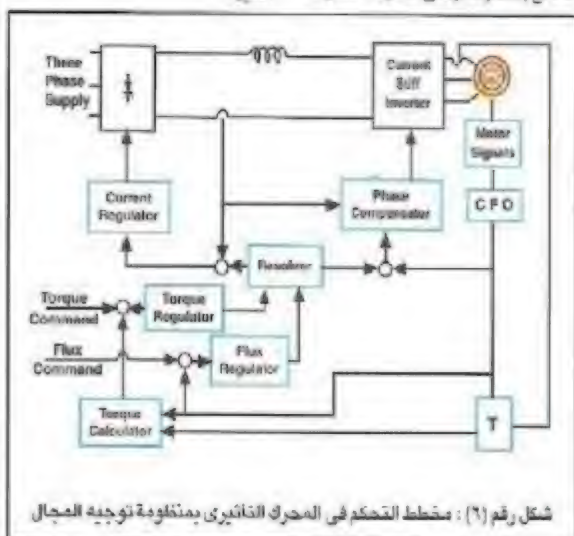
يبين الشكل رقم (٧) الأجزاء الرئيسية لجهاز بمنظومة التحكم المباشر في العزم . وفيه يتم قياس تيار خطين من الخطوط الثلاثة للمحرك .. كما يتم قياس جهد أو تيار خط التيار المستمر والتعريف على أوضاع التوصيل والفصل في المغير . ويتم تقنية الجهاز في بداية تشغيله لأول مرة مع المحرك ببيانات المحرك المقتنة من خرج . ويقوم الجهاز بالعمل مع المحرك مرة واحدة حتى أول مرة .. للتعريف على مقاومات وممانعات ومعاملات المحرك وهذا التشغيل يسمى Auto Calibration أو Param-eters Identification . وهكذا . تكتمل بيانات النموذج الرياضى للمحرك Adaptive Motor Model . وممن مقارن العزم Torque Comparator ومقارن المجال Flux Comparator تصدر أوامر الفصل والتوصيل في

وفي الأحوال العادية - بدون توجيه المجال - تكون الزاوية بين  $\Phi_r$  و  $\Phi_s$  صغيرة عند بدء دوران المحرك ثم تتزايد كلما زادت السرعة . لهذا .. فإنه يمكن زيادة عزم بدء الدوران للمحرك بأكثر من ٢٠٠٪ مع توجيه المجال عن عزم البدء بدون توجيه المجال . وتتناقص هذه الزيادة مع زيادة سرعة المحرك حيث تصل زيادة عزم العمل الكامل مع توجيه المجال إلى ٢٠٪ من عزم الحمل الكامل بدون توجيه المجال.

## التحكم في السرعة مع التحكم المباشر في العزم

يعتبر هذا الأسلوب هو الأحدث من نوعه للتحكم في سرعة محركات التيار المتردد بتغير التردد مع توجيه المجال المغناطيسى لتصبح الزاوية الضارفة بين مجال العضو الثابت والعضو الدائر  $\theta_0$  للحصول على أكبر قيمة لنسبة العزم إلى الأمبير .. وبالتالي تحسين كفاءة المحرك وزيادة عزم البدء وقدرته خرج المحرك.

وهذا التحكم المباشر في العزم Direct Torque Control يهدف إلى تحقيق نفس الاهداف والمزايا التي نحصل عليها بتحقيق توجيه المجال المغناطيسى التي سبق الإشارة إليها في المحركات التزامنية والمحركات التآثيرية .. إلا أن هذا الأسلوب DTC أبسط كثيراً من الأسلوب السابق لأنه أصبح بدون Encoder لقياس موضع العضو الدائر وبدون جهاز قياس سرعة العضو الدائر .. ويقوم بإجراء حسابات حالة المحرك بدقة عالية لأنه يقوم بمقارنة الحالة الفعلية للمحرك مع الحالة المعسوبة ويعمل أزمة التوصيل والفصل في المغير Inverter بسرعة عالية .. وذلك بفضل التوصيل لمعالج إشارات رقمى Digital Signal



شكل رقم (٦): مخطط التحكم في المحرك التآثيري بمنظومة توجيه المجال



## تساؤلات عملية

١ - هل توجد بالسوق المحلي أجهزة تعمل بمنظومة التحكم في السرعة مع توجيه المجال المغناطيسي؟

- نعم توجد أجهزة من إنتاج شركات متعددة عالمية تعمل بمنظومة توجيه المجال بطريقة التحكم المباشر في العزم DTC .. وأخرى تعمل بطريقة التحكم الاتجاهي Vector Control .. كما يوجد نوع ثالث يغير سرعة المحركات بتغيير التردد ولكنه يغير من قسمة المجال فقط دون أن يغير اتجاه المجال، ويسمى التحكم في هذه الحالة بالتحكم القياسي Scalar Control.

٢ - ما هي الفروق الجوهرية بين الأنواع الثلاثة لأجهزة التحكم في السرعة بتغيير التردد؟

- أبسط هذه الأنواع هو مغير التردد القياسي Scalar ويطلق عليه عادة Frequency Converter ، وقد سبق دراسة هذا النوع في العدد السابق من «الكهرباء العربية» .. وهو يعتبر مجرد منبع متغير التردد بجهود تناسب كل تردد .. ولتشغيله مع أي محرك فإننا لانصرف الجهاز بأية بيانات عن المحرك .. ولكن فقط يجب أن يكون تيار المحرك مناسباً لأقصى تيار يتحمله الجهاز .. ويمكن تشغيل أي محرك بتيارات أقل دون أن نعمل أي شيء في الجهاز بل يمكن تشغيل أكثر من محرك على الجهاز بشرط أن يتحمل الجهاز مجموع تيارات هذه المحركات .. وتركز عيوب هذا النوع في عدم تحسين خواص الأداء للمحرك عن حالة عمل المحرك مع المنيع الكهربائي العادي .. بل إن خواص المحرك تسوء بعض الشيء لوجود توافقيات .. وفي هذا النوع تتكون موجة الجهد بمنظومة تعديل عرض النبضة Pulse Width Modulation.

أما النوع الثاني من هذه الأجهزة والمزودة بمنظومة توجيه المجال بطريقة Vector Control .. ففيه يجب تعريف الجهاز بكل بيانات المحرك بدقة مثل التيار والسرعة والقدرة عند الحمل الكامل والجهد والتردد المقتن .. ولا يمكن تشغيل أكثر من محرك في نفس الوقت على الجهاز .. وإذا أريد استبدال المحرك بأخر .. يجب تحديد الجهاز ببيانات المحرك الجديد .. ويتميز هذا النوع بأنه يحسن خواص المحرك عن تلك التي تكون مع التشغيل على المنيع الكهربائي العادي .. حيث يقل التيار وتحسن الكفاءة ومعامل القدرة ويزداد عزم الحمل الكامل الذي يمكن تحصيله على المحرك كما يزداد عزم بدء الدوران .. وفي هذا النوع أيضاً تكون موجة الجهد عادة بمنظومة تعديل

## عرض النبضة PWM

ويخلق النوع الثالث - التحكم المباشر في العزم DTC - مزايا النوع الثاني ولكنه يفضله في أنه أكثر بساطة في التشغيل وأسرع استجابة للتغيرات المفاجئة في الحمل وجهد المنيع .. ويعطي المحرك السرعة المطلوبة بدقة عالية تقل نسبة الخطأ فيها إلى ٠.٨٪ .. وهناك اختلاف جوهري عن النوع الثاني يشتمل في أن موجة الجهد الخارج من الجهاز لاتتكون بمنظومة PWM بل بعملية توصيل وفصل لوجعات ترانزستور من نوع IGBT.

٣ - ما هي قيمة الجهد عند الترددات المختلفة للأنواع الثلاثة من هذه الأجهزة؟

- في النوع الأول "Scalar" تكون النسبة ثابتة بين الجهد والتردد  $V/f = \text{Constant}$  .. خلال الترددات الأقل من التردد المقتن .. ويمكن أن يزداد الجهد أو يقل قليلاً عن ذلك تبعاً لنوع الحمل من حيث احتياجه إلى عزم كبير أو صغير عند هذه الترددات المنخفضة .. وخلال الترددات المرتفعة تظل قيمة الجهد عند قيمة الجهود المقتن أو تزيد قليلاً كما سبق بيانه في العدد السابق من «الكهرباء العربية».

أما في النوعين الثاني والثالث .. فإن تيار المغنطة Flux Command يجب أن يكون ثابتاً عند قيمته المقتنة خلال جميع الترددات الأقل من التردد المقتن .. وذلك حينما يحتاج العمل لعزم كبير مساو لعزم الحمل الكامل خلال هذه الفترة .. إما إذا كان الحمل يحتاج لعزم منخفض مثل الحمل المروحي .. فإن مركبة تيار المغنطة يجب أن تقل بمعدل يناسب كل نوع من الأحمال الميكانيكية على المحرك .. وخلال الترددات الأعلى من التردد المقتن يجب أن يتناقص تيار المغنطة حتى لاتزداد مضاعف الجهد وبالتالي مفاتيح نحاس العضو الثابت للمحرك .. ويضاف معدل التناقص هذا مثله في تيار المجال لمحركات التيار المستمر عندما تعمل بسرعة أعلى من السرعة المقتنة .. كما يضاف أيضاً معدل تناقص تيار المغنطة عند الترددات المرتفعة في الأجهزة من النوع الأول "Scalar".

أما تيار العزم Torque Command فإنه يقترب من الصفر عند اللاحمل لجميع الترددات ويزداد خطياً مع زيادة عزم الحمل .. إلا أن معدل الزيادة الخطية تكون قليلة في السرعات المنخفضة وكبيرة في السرعات العالية لتعويض نقص تيار المغنطة .. والتيار الكلي للمحرك يساوي الجذر التربيعي لمجموع مربع تيار المغنطة ومربع

## تيار العزم

٤ - هل يمكن أن يعمل الجهاز بطريقة خاطئة تؤدي إلى إساءة خواص المحرك؟

- النوع الأول - ذو المجال القياسي "Scalar" - لا يعمل بطريقة خاطئة مادام جهده وقدرته متناسين لجهد وقدرة المحرك .. ويمكن استبدال المحرك الكبير بأخر صغير أو بمجموعة محركات صغيرة مجموع قدراتها تساوي قدرة الجهاز .. أما في النوعين الثاني "Vector Control" والثالث "DTC" فإن الجهاز يمكن أن يعمل بطريقة خاطئة تؤدي إلى زيادة التيار ونقص الكفاءة ومعامل القدرة وعزم المحرك .. وذلك إذا حدث خطأ في إعطاء بيانات المحرك للجهاز .. وأكثر البيانات حساسية لهذا الخطأ هي سرعة المحرك المقتنة التي يجب إعطاؤها بالضبط كما هو مدون بلوحة بيانات المحرك .. وإذا كان الخطأ كبيراً فإن الجهاز سوف يعمل نتيجة زيادة التيار Over Current .. فإن هذين النوعين من الأجهزة لا يعمل أي منهما على أكثر من محرك واحد.

٥ - كيف نستدل على أن الجهاز من النوع الثاني أو النوع الثالث يعمل بطريقة صحيحة؟

- أبسط طريقة لذلك .. هي تشغيل المحرك من المنيع العادي .. أي : ثباته / ثباته - وقياس سرعته وتياره عندما يكون محملاً بالحمل الكامل أو أقل قليلاً .. ونسباً أثناء اللاحمل - ثم إعادة تشغيل المحرك من الجهاز وضبط سرعته على نفس السرعة .. عندما كان يعمل على المنيع العادي .. ثم قياس التيار والمحرك محملاً بنفس الحمل حيث يجب أن يكون هذا التيار أقل من التيار في حالة التشغيل على المنيع العادي .. ولاحظ هنا أن نفس التيار

يكون محدوداً جسدياً وغير ملحوظ إذا كان المحرك عند اللاحمل .. لأن المجالين يكونان متعاضدين عند اللاحمل .. سواء عمل المحرك التآثري على المنيع العادي أو مع أي من الجهازين.

٦ - هل يعمل أي جهاز على أي من المحركين التآثري أو التآثري؟

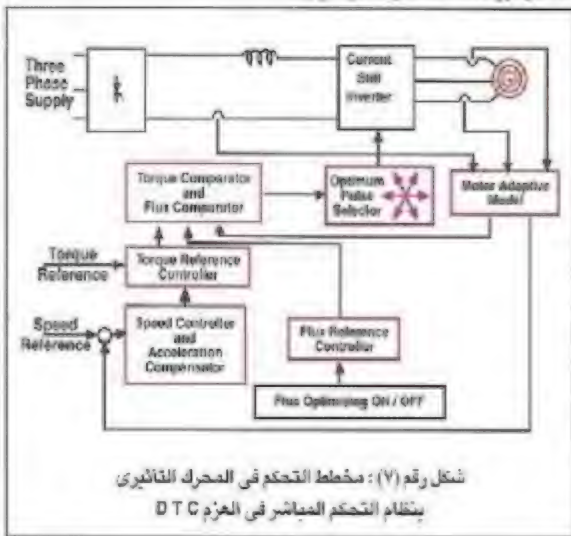
- يعمل النوع الأول على أي من المحركين بدون أي مشاكل .. أما النوعين الثاني والثالث فيعملان فقط على نوع واحد من المحركات لأن حسابات الجهاز لخواص الأداء للمحرك التآثري تختلف عن حساب خواص الأداء للمحرك التآثري .. وهذه الخواص يتم حسابها باستمرار طوال فترة تشغيل المحرك لتصبح قيم تيار المجال وتيار العزم .. ونظراً لأن بعض الأجهزة مزودة ببرامج حسابات المحرك التآثري وبرامج حسابات المحرك التآثري .. فيجب اختيار نوع المحرك من خيارات الجهاز .. كما أن بعض الأجهزة الحديثة مزودة بخيار آخر يتيح تشغيل الجهاز بـ "Scalar Control" أو "DTC".

٧ - هل تكون شروط اختيار عدد أقطاب المحرك - أو شروط استبدال محرك التيار المستمر بمحرك يعمل بهذا الأسلوب - أو شروط تغيير محرك سرعة واحدة معه صندوق تروس بمحرك يعمل بهذا الأسلوب .. هي نفس الشروط عندما يعمل المحرك مع جهاز من النوعين الثاني أو الثالث؟

- نعم تتطابق نفس الشروط.

## العدد القادم :

## البعد الناعم وموفرات الطاقة



شكل رقم (٧) : مخطط التحكم في المحرك التآثري بنظام التحكم المباشر في العزم DTC

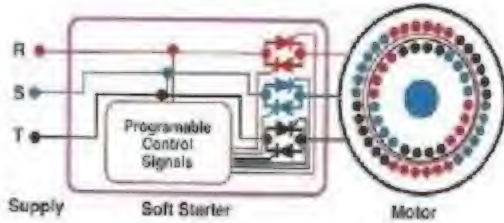


# البعد الناعم للمحركات الكهربائية

## Soft Starting

د. فتحي عبد القادر

رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شين الكوم



شكل رقم (١): توصيل جهاز البدء بين المحرك والمصدر

متوسطة القدرة.. ومحول أوتو - Auto Transformer أو ملف مساعدة Magnetising Reactance للمحركات كبيرة القدرة. ويوضح الشكل رقم (٢) عزم محرك ٢ حصان مع زيادة السرعة خلال فترة البدء لهذه المارن الثلاث.. حيث يكون عزم البدء كبيراً بالتوصيل المباشر بينما تنقص قيمته على مرحلتين باستخدام مفتاح (نجمة / دلتا).. وعلى ثلاث مراحل على الأقل باستخدام محول أوتو.. ومع أن من هذه الطرق تحدث تغيرات مفاجئة للعزم تسبب الصدمات الميكانيكية.. كما تحدث صدمات كهربائية نتيجة التغيرات المفاجئة في التيار المبينة في الشكل رقم (٣).

وباستخدام عملية البدء الناعم.. يتم ضبط الجهد بحيث تكون قيم تيارات المحرك عند البدء بالقدر الكافي فقط لأن تعلى المحرك عزمًا يساوي عزم الحمل عند البدء.. وهذه القيم - بالطبع - لن تؤدي إلى دوران المحرك والحمل ولكنها

١٠ - تمنع الصدمات الفجائية أثناء رفع الأحمال بالآلات..  
١١ - تمنع تحرك أو انسكاب المواد التي تنقل بواسطة سيور نقل.  
١٢ - نادرًا ما يحتاج جهاز البدء الناعم للصيانة.. لأنه لا يحتوي على أجزاء متحركة.

ويرجع حدوث البدء القاسي وما يتبعه من صدمات ميكانيكية وكهربائية.. إلى أنه عند توصيل المحرك بالمقبع الكهربائي ينشأ فورًا عزم من المحرك يكون أكبر بكثير من العزم الذي يعطاه الحمل.. وبالتالي تنشأ قوة دفع تعجل دوران الحمل تتبعها صدمات ميكانيكية.. ويكون التيار الكهربائي بقيمة عالية فجائية تسبب تذبذبات كهربائية في الجهد والنيارات.

وأكثر الطرق استخدامًا في بدء دوران المحركات النائية ثلاثية الأطوار هي التوصيل المباشر Direct On Line للمحركات صغيرة القدرة.. ومفتاح (نجمة / دلتا) للمحركات

الميكانيكية على محور الدوران لكل من المحرك والحمل وكذلك على تروس أو سيور النقل من المحرك إلى الحمل مما يزيد من عمرها.

٢ - إنقاص تيار البدء إلى قيمة تتحملها ملفات المحرك.

٣ - المحافظة على ثبات جهد الشبكة الكهربائية لأن تيار البدء العالي يؤدي إلى خفض جهد الشبكة مما يسبب مشاكل لبقية الأحمال.

٤ - إنقاص المفاطر الناتجة عن تيار البدء العالي في محول التوزيع الذي يعمل عليه المحرك.

٥ - توفير الطاقة الكهربائية خلال فترات البدء - ويمكن لبعض أجهزة البدء الناعم توفير الطاقة طوال فترات تشغيل المحرك.

٦ - إنقاص مخاطر التلويح في زيادة ونقص التيار والجهد للأحمال والشبكة عند تشغيل الكياسات الترددية.

٧ - استخدام مساحة مقطع صغير للكابلات المتصلة من الشبكة إلى المحرك.

٨ - باستخدام طريقة بدء بمفتاح (نجمة / دلتا) نحتاج إلى كابلاتين كل منهما ثلاثة أطراف من المحرك حتى المفتاح.. ولكن باستخدام جهاز البدء الناعم نحتاج إلى كابل واحد ثلاثة أطراف.

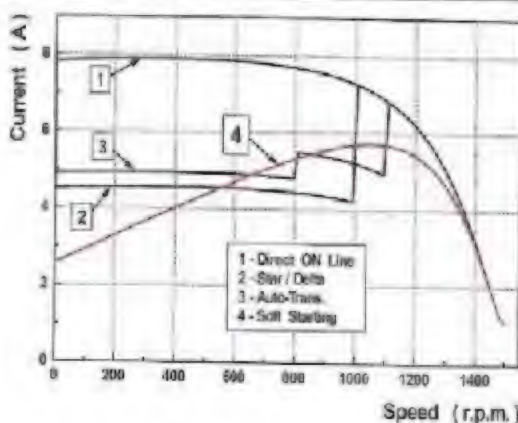
٩ - إنقاص الصدمات الهيدروليكية على كل من الطلمبة والأنابيب التي تنقل السوائل.

قديمًا.. كانت عمليات بدء الدوران على المحركات الكهربائية تتم بهدف إنقاص تيار المحرك إلى قيمة تتحملها ملفات - لأن تيار البدء في المحركات النائية يزيد على خمسة أضعاف تيار الحمل الكامل بينما يزداد تيار البدء عن عشرين ضعف تيار الحمل الكامل في محركات التيار المستمر.. وكان يتم إنقاص التيار على مرحلتين أو ثلاث.. وكانت تحدث صدمات ميكانيكية مفاجئة على محور دوران المحرك والحمل وكذلك على وسيلة الربط الميكانيكية بين المحرك والحمل سواء كانت مباشرة أو باستخدام تروس أو سيور.. مما كان يستلزم زيادة حجم محور الدوران والتروس والسيور.

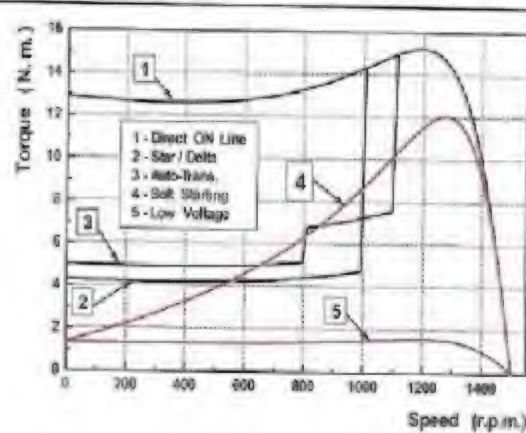
ومع التطور الكبير في تصنيع المكونات الإلكترونية.. أصبح من السهل التحكم في تيار بدء المحركات ليس على مرحلتين أو ثلاث مراحل.. بل بمعدل تغير طفيف يؤدي إلى بدء ناعم بالقيمة المطلوبة.. ليس للتيار فقط وإنما أيضًا للعزم وبمعدل تغير يناسب طبيعة كل حمل بحيث لا يؤدي إلى أية صدمات ميكانيكية أو كهربائية.. وتستخدم لذلك حاليًا أجهزة تسمى بأجهزة البدء الناعم Soft Starters.. وتوصّل بين المقبع الكهربائي والمحرك كما في الشكل رقم (١)..  
ولهذا فإن طرق البدء القديمة تعزير طرق بدء قاسية Hard Starting

ويمتدق استخدام جهاز البدء الناعم المزايا التالية:

١ - إنقاص مخاطر الصدمات

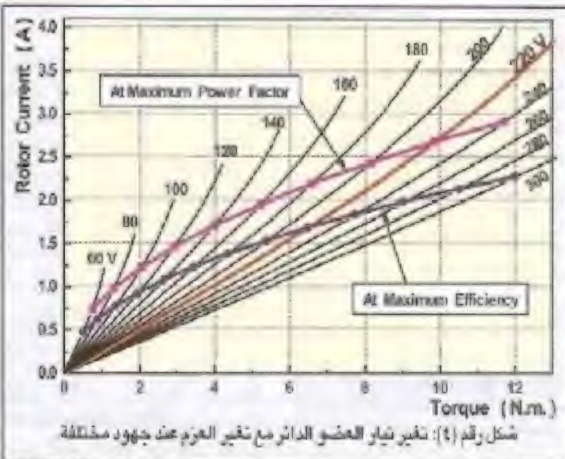


شكل رقم (٣): تغير تيار دخل المحرك مع طرق البدء المختلفة



شكل رقم (٢): تغير عزم المحرك مع طرق البدء المختلفة



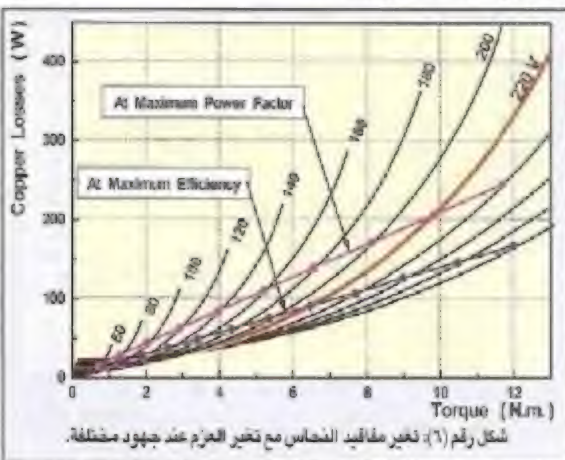


بحيث تكون الكفاءة العظمى عند حمل أقل قليلاً من الحمل الكامل. وأن يتحمل المحرك جهوداً يزيد عن الجهد اللين بمقدار ١٠٪ أو يقل عن بمقدار ٢٠٪ طبقاً للمواصفات القياسية. وذلك لأن جهد الشبكة الكهربائية في المناطق القريبة من محمول التوزيع يسمح له بالزيادة بمقدار ١٠٪. وفي أبرد مناطق يمكن أن يقل بمقدار ٢٠٪. فإذا كان عزم الحمل أكبر من ٦٥٪ من الحمل الكامل وكان الجهد أعلى من اللين. حافظنا على الكفاءة في حدود قيمتها العظمى. أما إذا كان الجهد عند القيمة الملائمة فإن الكفاءة تنقل. ونقل أكثر إذا كان الجهد أقل من اللين كما يوضح الشكل رقم (١٠). ولهذا يجب زيادة الجهد عن اللين بأي أسلوب حتى لو اضطررنا لاستخدام محول رفع في حالة المركبات كبيرة القدرة حيث يكون توفير الطاقة مؤثراً.

كما يلاحظ أن عزم الحمل إذا كان كبيراً وساوياً لعزم الحمل الكامل للمحرك. فإن زيادة الجهد عن القيمة الملائمة تنقل للمنافيد الكثيرة للمحرك ثم تعود للزيادة

(١٠) فيوضح التغير الكبير في كفاءة للمحرك مع تغير العزم عند الجهود المختلفة. ويوضح منه ثبات قيمة الكفاءة العظمى عند ٨٥,٦٨٪ لهذا المصنع. كما تتبين الصلة إلى خفض الجهد عند عزم الحمل للتحقق وزيادة الجهد كلما زاد عزم الحمل حتى نحافظ على الكفاءة العالية للمحرك وبالتالي توفير الطاقة التي يستهلكها المحرك. ويلاحظ أن الجهد يجب إنقاذه في الأحمال الخفيفة أو الأحمال حتى يصبح حوالي ٢٥٪ من الجهد اللين للمحرك. ويزداد عزم الحمل يجب زيادة الجهد بالشكل الموضح. ويصل الجهد إلى قيمته الملائمة عند عزم حوالي (٦,٥ نيوتن متر) وهو ما يعادل ٦٥٪ من عزم الحمل الكامل الذي كانت قيمته لهذا المصنع (١٠ نيوتن متر). أما بعد زيادة العزم عن ٦٥٪ وحتى وصوله إلى ١٠٠٪ فإن الجهد للسلط على المحرك يجب أن يزيد عن الجهد اللين حتى تبقى الكفاءة بالقيمة العظمى ولكن قل قليل بزيادة الجهد عن قيمته الملائمة. وكيف يحدث ذلك؟ وهل هذه الزيادة إن تسبب في أية خللوة على المحرك؟

تصمم المركبات الكهربائية عادة



ويوضح الشكل رقم (٦) تفسير تيار العضو الدائر بتغير عزم الحمل عند جهود مختلفة. والذي يختلف عن تيار دخل المحرك - حيث يتزايد تيار العضو الدائر بفضض الجهد سواء كانت العزوم مرتفعة أو منخفضة - حتى ينشأ مجالاً من العضو الدائر يعوض خفض مجال العضو الدائر مع خفض الجهد. وبعد عزم ثابت تحدث أقصى كفاءة عند جهد معين ولكن أقصى معامل قدرة يحدث عند الجهد الأقل يتزايد أعلى كما كان مع تيار دخل المحرك.

وأما منافيد الحديد. فإنها تنقل مع زيادة العزم عند أي جهد لنقص القوة الدافعة الكهربائية ومجال العضو الدائر. وتزداد منافيد الحديد بزيادة الجهد كما في الشكل رقم (٥). ولكن نحصل على أقصى كفاءة عند كل عزم - لتوفير أكبر قدر ممكن من الطاقة الكهربائية - يجب أن يكون الجهد منخفضاً عند العزوم الصغيرة. ويزداد مع زيادة عزم الحمل. وعندما تكون المنافيد الحديدية بالقيم الواثمة على خط الكفاءة العظمى. أما خط معامل القدرة العظمى فيحدث لنسب العزوم عند جهد أقل ويكون منافيد الحديد أقل لذا تغير مجموع منافيد نحاس العضو الدائر والعضو الدائر فيوضح الشكل رقم (٦). حيث تتزايد هذه المنافيد مع خفض الجهد لنقص العزم بطريقة منتظمة. كما كان يحدث مع تيار العضو الدائر وتيار العضو الدائر.

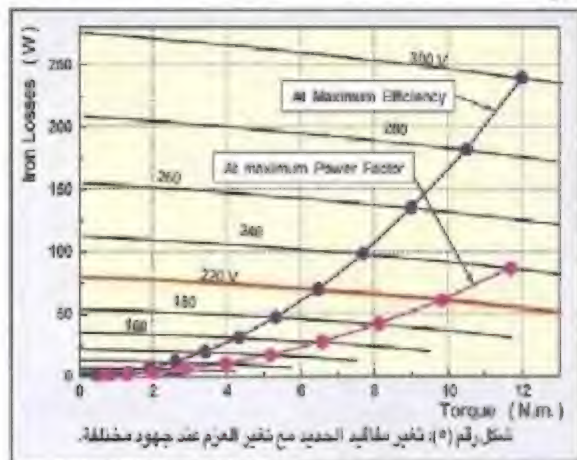
وبذلك يكون التغير في إجمالي منافيد المحرك المنطوق في مجموع منافيد الحديد ومنافيد النحاس كما في الشكل رقم (٧). ويجب ملاحظة زيادة المنافيد بزيادة العزم حتى عند الكفاءة العظمى على الرغم من نقص التيارات ومنافيد النحاس مع زيادة الجهد عند العزوم الكبيرة.

ويوضح الشكلان رقم (٨) (٩) تفسير قدرة الدخل ودرجة الفرج للمحرك مع تغير عزم الحمل عند الجهود المختلفة. أما الشكل رقم

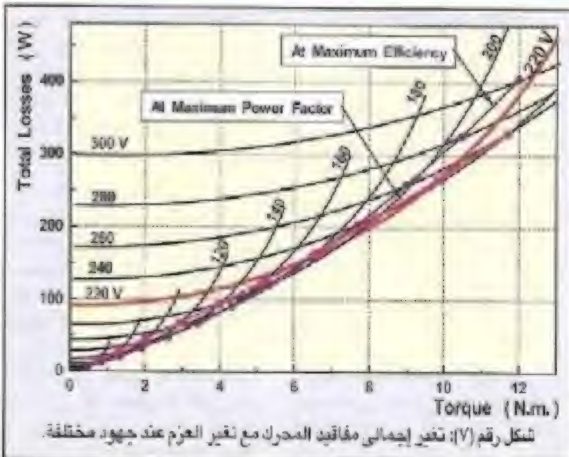
السعة التي تحدث عندما الكفاءة العظمى تزداد قليلاً عن مثيلتها للمركبات الأكبر قوة. وتقال قليلاً للقدرة الأقل. ولأنه قدرة تكون سرعة أقصى كفاءة ثابتة لقيمة بتغير الجهد.

كما يلاحظ أن أقصى كفاءة لا تحدث عند أقل تيارات المحرك لأن لكل منافيد نحاسي أقل مجموع منافيد الحديد للمحرك Iron Losses ومنافيد نحاسي اللغات Copper Losses. وكما زاد التيار مع زيادة عزم الحمل زادت منافيد النحاس ولكن تنقص منافيد الحديد ولهذا فإن أقل منافيد لا تكون عند أقل تيارات. وقد وجد أن أقصى معامل قدرة Max. Power Factor يحدث أيضاً عند سرعة ثابتة لكل محرك - كانت ١١٠٠ دورة/دقيقة للمحرك ٢ حصان - وهي أقل من سرعة أقصى كفاءة للمحرك كما في الشكل رقم (٦).

ويوضح الشكل رقم (٧) تغير تيار دخل المحرك مع تغير عزم الحمل عند جهود مختلفة. ويلاحظ أن تيار للمحرك عندما يكون بدون حمل أو يحمل خفيف - يقل كما تنخفض الجهد على المحرك. وهذا ما يشير إلى تفصيل خفض الجهد عندما يكون لعزم قليلاً حيث يقل التيار فنقل منافيد النحاس كما قل منافيد الحديد. ولكن إذا كان للمحرك يستهلك كبير مساو للحمل الكامل أو قريباً منه. فإنه يفضض الجهد بزيادة التيار إلى قيمة أكبر من تيار الحمل الكامل مما يسبب زيادة منافيد النحاس واحتراق ملفات المحرك أي أنه كلما زاد عزم الحمل على المحرك يجب أن يكون الجهد كبيراً. وعند أي عزم. نجد أن أقصى كفاءة تحدث عند جهد معين ويكون التيار منخفضاً. وعند نفس العزم يحدث أقصى معامل قدرة عند جهد أقل من جهد أقصى كفاءة. ويكون التيار أعلى لأن قدرة الدخل تكون أعلى.







وبمعرفة تيار الحمل الكامل للمحرك III من لوحة بيانات المحرك، يمكن حساب النسبة المئوية لقدرته الحمل للموجود على المحرك  $P$  كنسبة من قدرة الحمل الكامل للمحرك والمعروف من لوحة بياناته - من العلاقة

$$P = \sqrt{(I_L - I_0) / k}$$

$$k = (I_H - I_0) / 10000$$

٤- ما هي المزايا الأخرى لجهاز توفير الطاقة؟

- تحسين معامل القدرة وبالتالي إنقاص التيار وتحسين خواص الشبكة الكهربائية وسعر استهلاك الطاقة الكهربائية.

- تحقيق صوت المحرك ودرجة حرارته وبالتالي إطالة عمر المحرك مع إنقاص حاجته للصيانة.

٥- هل يمكن أن يعمل جهاز توفير الطاقة بطريقة خاطئة؟

لكي يعمل الجهاز بطريقة صحيحة يجب أن يكون الجهد المسلط على المحرك بالقل قيمة عند اللاحمل. أي أن فرق الجهد بين طرف دخل الجهاز وبين الطرف من خرج الجهاز أكبر ما يمكن. وبزيادة عزم الحمل يجب أن يزداد الجهد

المشرد لأنه يخفض سرعتهها وعزمها بنسبة كبيرة. أما محركات التيار المستمر فإن خفض الجهد يؤدي إلى خفض السرعة بنسبة كبيرة. ويمكن المحافظة على ثبات السرعة بإنقاص تيار المجال، ولكن توفير الطاقة يكون محدوداً، ويحتاج الجهاز إلى تحكم خاص عندما يكون عزم الحمل منخفضاً للحصول على القدرة المناسب من قيمة توفير الطاقة.

ولهذا فإن أجهزة توفير الطاقة المتاحة حتى الآن تستخدم فقط مع المحركات التزامنية والتأثيرية ثلاثية الأوجه والتأثيرية ذات الوجه الواحد بالمكثف الثابت. كما توجد أجهزة تستخدم مع الأحمال الكهربائية التي لا تحتوي على محركات كهربية.

٣- كيف نعرف على قيمة الحمل الموجود على المحرك الكهربائي؟

للتعرف على قيمة الحمل الميكانيكي الموجود على المحرك الكهربائي - لمعرفة مدى حاجة المحرك لجهاز توفير الطاقة من عدمه - نعرف المحرك الكهربائي عند اللاحمل ونقيس التيار الذي يسلفه المحرك في هذه الحالة وهو تيار اللاحمل  $I_0$  عندما يكون الجهد المسلط على المحرك هو الجهد القياسي. ونقيس التيار الذي يأخذه المحرك عند وجود الحمل  $I_L$ .

## المحركات الكهربائية؟

بصفة عامة - فلن نكل أنواع المحركات الكهربائية يمكننا توفير الطاقة عندما يكون الحمل أقل من الحمل الكامل. وذلك بخفض الجهد المسلط عليها. مع الاحتياط من الآتي:

أ- إن خفض الجهد سيؤدي إلى خفض عزم البدء للمحرك. فإذا كان عزم الحمل كبيراً عند البدء فلا يجب خفض الجهد باستعمال جهاز توفير الطاقة. وذلك في جميع الأحوال التي يكون عزمها ثابتاً مع تغير السرعة مثل الروافع والأوتاش عندما يكون عزم الحمل مساوياً أو قريباً من عزم الحمل الكامل للمحرك. أما إذا كان الحمل منخفضاً عن عزم الحمل الكامل. فيمكن استخدام جهاز توفير الطاقة بشرط أن لا يؤدي إلى خفض عزم بدء المحرك عن عزم بدء الحمل ولا وجب إلقاء عمل جهاز توفير الطاقة عند بدء الدوران وتشغيله بعد بدء الدوران باستعمال «كونتاكور» ليحدث «توكوير» By Pass على الجهاز عند البدء.

ب- تبقى سرعة المحرك مع الحمل ثابتة بخفض الجهد عند استعمال الجهاز في حالة المحركات التزامنية أو التآثيرية وبالتالي لا تحدث مشاكل الحمل أو الحركة. أما خفض الجهد في حالة المحركات التآثيرية ذات الوجه الواحد فيؤدي إلى خفض السرعة. وفي الأنواع التي تحتوي على مفتاح طور مركزي سوف يوصل القضاخ ويؤدي إلى احتراق ملفات البدء. أما النوع ذو الكاث فالدائم فلن تحدث له أية مشكلة. ولهذا يمكن استخدام جهاز توفير الطاقة بأمان خصوصاً عندما يستعمل مع حمل مروحي Fan. ولا يجب استخدام أجهزة توفير الطاقة مع التلاحيات الكهربائية المنزلية بأنواعها المختلفة وكذلك أجهزة التكييف والتلاحيات الترددية. ولا يفضل استخدامها للمحركات العامة Universal Motors ذات عضو التوحيد والتي تعمل على التيار

بزيادة الجهد حتى تتساوى مع مفاقيد الجهد القياسي عند جهد أعلى من القياسي بحوالي ٧٥% - أي عند جهد حوالي ٧٥% ف - وأعلى من هذا الجهد عند هذا الحمل الكامل سوف تكون المفاقيد عالية عن مفاقيد الجهد القياسي وتشكل خطورة لاحتراق ملفات المحرك كما يوضحه الشكل رقم (٧).

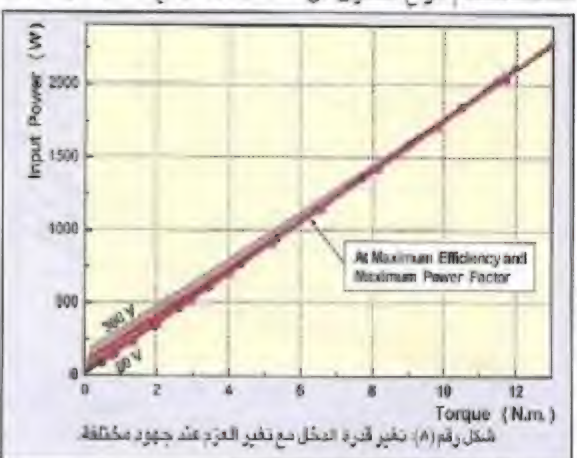
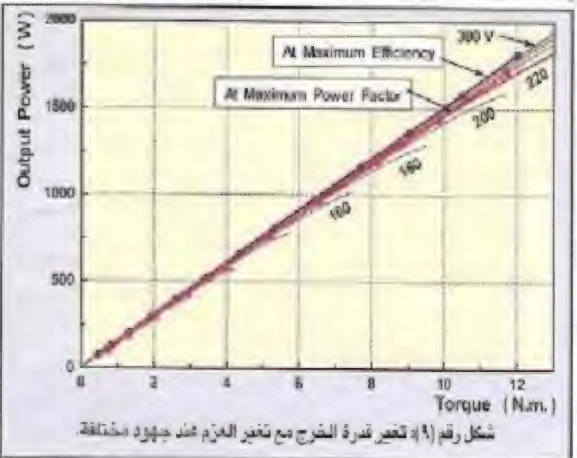
ويرجع السبب في هذه التغيرات إلى أن عزم المحرك يتناسب مع كل من المجال المغناطيسي للعضو الثابت الناتج عن تيار المغنطة Magnetising Current والعضو الدائر الناتج عن تيار العضو الدائر فإذا زاد الجهد زاد تيار المغنطة وجعلها بما يؤدي لنقص تيار العضو الدائر بثبات العزم. وانقاص تيار العضو الدائر يقلص تيار العضو الثابت وبالتالي يقلص مفاقيد النحاس. ولكن، باستمرار زيادة الجهد عن قيمة المغنطة يزداد تيار المغنطة بزيادة كبيرة للتشبع الكبير في الحديد بون زيادة مجال المغنطة بنفس المعدل. وبالتالي تزداد المفاقيد بمعدل كبير.

## تساؤلات حول أجهزة توفير الطاقة

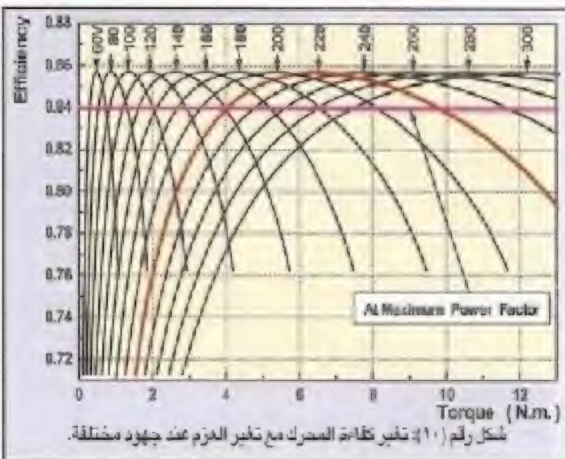
١- متى يفضل استخدام جهاز توفير الطاقة؟

عندما نريد أن العمل على المحرك التأثيري ثلاثي الأوجه بتغير قيمته من فترة إلى أخرى. وخصوصاً عندما تكون معظم الفترات يعمل منخفض عن الحمل الكامل للمحرك أو أن المحرك يعمل لفترات طويلة عند اللاحمل. وهنا يجب استخدام جهاز توفير الطاقة أما إذا كان للمحرك يعمل باستمرار بالحمل الكامل فإنه لا داعي لبدأ لاستخدام جهاز توفير الطاقة لأنه لن يوفرها حيث سيغطي المحرك جهداً مساوياً للجهد القياسي.

٢- هل يمكن توفير الطاقة عند استخدام أنواع أخرى من







شكل رقم (١٠): تغير كفاءة المحرك مع تغير العزم عند جهود مختلفة.

١٣- ما هي البيانات اللازمة لاختيار جهاز توفير الطاقة؟

يتطلب اختيار الجهاز معرفة جهد التشغيل للمحرك وتيار الحمل الكامل وقدرته المحرك ونوعه ووجود محول خاص بالمحرك من عدمه لأنه إذا كان للمحرك محول خاص به فيفضل استخدام الجهاز عند دخل المحول وبالتالي يجب ذكر جهود وتيارات دخل المحول في خرج الحرك بالحمل الكامل على خرج المحول كما يفضل أن يقرأ ويذكر الجهد القاطن الواسل للمحرك قبل استخدام الجهاز. ويفضل أيضاً قياس وتكر قيم تيارات الحرك عند أحوال التشغيل المختلفة وهي قيمات الأساسية. ثم تعدد خيارات الجهاز من حيث عمله أوتوماتيكياً فقط أم أوتوماتيكياً ويدوياً وهل يقلل الحمل مع محركات أقل قدرة أم لا وهل يقبل العمل مع أنواع أخرى من المحركات أم لا وهل يمكن إعادة ضبط معدلات تغير الجهد أم لا وهل يشتمل الجهاز على حماية المحرك من زيادة التيار أو زيادة الجهد أم لا؟

في الصدد القادم:

محركات، السرفو،

الدوران وزيادته بالتدريج المناسب مع زيادة سرعة الحرك.

١١- هل يمكن استخدام جهاز توفير الطاقة مع محرك قدرته أقل من قدرة الجهاز.. أو مع مجموعة محركات صغيرة؟

نعم يمكن ذلك إذا كان الجهاز به إمكانية تعديل التشغيل تبعاً لقدرة المحرك. أما تشغيل الجهاز مع مجموعة محركات صغيرة مختلفة القدرة ومصنوع قدراتها يساوي أو يقل عن قدرة الجهاز. فإنه يتطلب أن تكون طبيعة أحمال المحركات متشابهة بحيث تتزايد عزوم الأحمال أو تنقص مع بعضها. أما إذا اختلفت فلا يصح استخدام الجهاز لأنه يمكن أن يحسن أداء محرك ويقلل أداء آخر وقد يخرق الحرك.

١٢- هل يمكن استخدام جهاز توفير الطاقة مع المحولات الكهربائية؟

نعم. إذا كانت أحمال المحولات متشابهة وتحتاج إلى خفض الجهد عليها فإنه يفضل خفض الجهد على دخل المحول بدلاً من خفضه بعد خرج المحول حتى تنقص مفاتيح النحاس والحديد في المحول وتضمن مواضعه وتزيد الطاقة الموفرة.

نعم لأن ضغط الجهاز لن يتغير من سرعة إلى أخرى لأن معدل تغير التيار أو القدرة أو الجهد اللازم مع العزم لا يتغير تقريباً مع اختلاف سرعة الحرك.

٨- هل يمكن استخدام جهاز توفير الطاقة للمحرك الموجود معه جهاز بدء دوران؟

إذا كان جهاز بدء الدوران من نوع أجهزة البدء اللينيم Soft Starting وبه إمكانية توفير الطاقة. فإنه لا داعي لاستخدام جهاز توفير الطاقة. أما إذا كان جهاز البدء ليس به إمكانية توفير الطاقة أو كان البدء بالطرق التقليدية مثل مفتاح Star/Delta أو مداعلت أو محولات. فإنه يمكن استخدام جهاز توفير الطاقة بعد إتمام عملية بدء الدوران.

٩- هل يمكن استخدام جهاز توفير الطاقة مع محرك مستخدم معه جهاز صغير السرعة بنظام تغيير التردد؟

يصعب استخدام جهاز توفير الطاقة مع وجود صغير السرعة بطريقة تغيير التردد Inverter. لأن جهاز توفير الطاقة يصنع عادة ليعمل على تردد في حدود ٥٠ هرتز/ثانية. وتغيير التردد يمكن أن يثقل الجهاز، وإذا كان تغير السرعة يتم بالطرق البسيطة مثل المداعلت فلا داعي لاستخدام جهاز توفير الطاقة. لأن المداعلت تقوم بذلك. كما أن الجهاز سوف يخفض السرعة بمعدل أكبر.

١٠- هل يمكن استخدام جهاز توفير الطاقة لبدء دوران المحرك؟

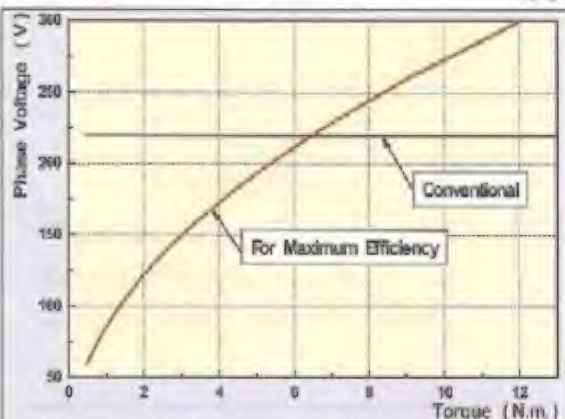
يمكن استخدام الجهاز للحد من تيار البدء العالي للمحرك. وذلك بتحقيق الهدف الأساسي من أي طريقة لبدء الدوران. ولكن يجب أن يشتمل جهاز توفير الطاقة على إمكانية تحقيق ذلك بأحواضه على إمكانية العمل يدوياً أو أوتوماتيكياً لضبط جهد الخرج. لأن هذه الحالة سوف تتحقق بالتحكم يدوياً في جهد خرج الجهاز لإنقاصه في بداية

على المحرك بمعدل الزيادة الموضح في الشكل رقم (١٢). وينخفض فرق الجهد بين طرفي دخل وخرج الجهاز بزيادة عزم الحمل. وللأسف أنه توجد بعض الأجهزة في السوق تعمل بطريقة عكسية بحيث يكون الجهد على المحرك كبيراً عند الأحمال ويتناقص بزيادة الحمل. وهذا التشغيل يسبب خطورة على المحرك لأنه إذا تم تحميل المحرك بالحمل الكامل فسوف يزداد التيار كثيراً عن تيار الحمل الكامل للمحرك مما يؤدي إلى احتراق ملفات. وإذا تم تحميل المحرك بحمل أقل من الحمل الكامل فإن الجهاز لن يقوم بتوفير الطاقة بل سوف تزداد. ولهذا يجب اختيار الجهاز على المحرك جيداً وتقييم قدرة دخل المحرك عند أحمال مختلفة لأنها يجب أن تقل في جميع الأحوال باستخدام الجهاز عن حالة عدم استخدامه.

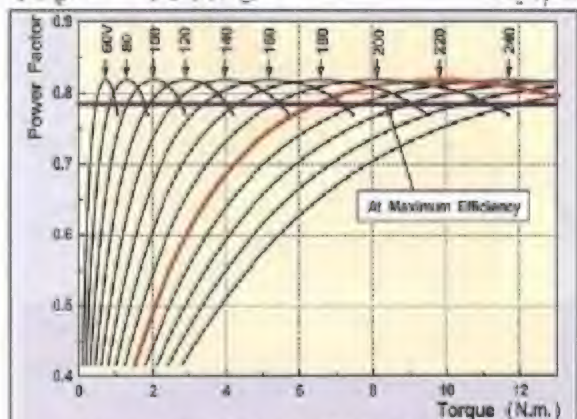
٦- هل يمكن استخدام جهاز توفير الطاقة المستخدم للمحركات التناظرية مع أنواع أخرى من المحركات أو مع أحمال كهربائية أخرى؟

يجب أن يشعر الجهاز بقيمة الحمل على الحرك حتى يعطي له الجهد المناسب. ويتم ذلك بنظام التغذية الراجعة Feed Back الجهاز من تيار الحرك أو قدرته ثم حساب الجهد المناسب. ولعمل هذه الصلوات تستخدم معادلات حساب خواص الأداء للمحركات التناظرية حسب قوة ومواصفات المحرك وبالطبع فإن هذه المعادلات تختلف مع الأنواع الأخرى من المحركات. لهذا فإن الجهاز المستخدم مع المحركات التناظرية لا يصلح للتشغيل مع أنواع أخرى من المحركات إلا إذا كان قابلاً للتعديل والعمل مع أنواع أخرى أو أعمال كهربائية أخرى.

٧- هل يمكن استخدام جهاز توفير الطاقة المستخدم مع محرك سرعته ٣٠٠٠ لفة/دقيقة لحرك آخر سرعته ١٥٠٠ أو ١٠٠٠ لفة/دقيقة؟



شكل رقم (١٢): تغير جهد المحرك اللازم للحصول على الكفاءة العظمى مع تغير العزم.



شكل رقم (١١): تغير معامل القدرة مع تغير العزم عند جهود مختلفة.

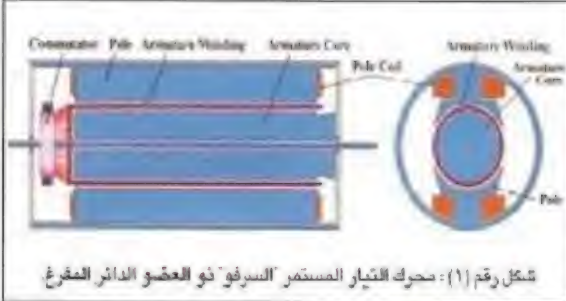


# محركات «السرفو» Servo Motors

## أهم أنواع محركات التيار المستمر

د. فتحي عبد القادر

رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شيبين الكوم



شكل رقم (١): محرك التيار المستمر «السرفو» ذو العضو الدائر المفرغ

مستمر.. إلا أن الأقطاب لا تغذي بنفس منبع العضو الدائر.. وعادة ما تغذي منفصلة *Separate Excited* كما سيوضح من طرق التحكم في هذا المحرك.

وهذا المحرك يعمل بنفس نظرية عمل محركات التيار المستمر حيث ينشأ مجال مغناطيسي من العضو الدائر يتفاعل في الفراغ مع المجال المغناطيسي الناتج من العضو الثابت فينشأ عزم دوران المحرك، وأهم ما يجب ملاحظته من نتيجة هذا التكوين لمحرك «السرفو».. أن عزم العضو الذاتي للعضو الدائر أصبح صغيراً جداً حتى يساعد في سرعة استجابة المحرك.. كما أن مقاومة أسلاك العضو الدائر تكون عالية لصغر مقطع الأسلاك مما يجعل محرك «السرفو» يتحمل تكرار بدء الدوران دون الحاجة لاستخدام أي طريقة بدء مثل إضافة مقاومة مع العضو الدائر عند البدء.

### ٢- المحرك ذو العضو الدائر القرصي *Disk Armature DC Servo Motor*

في هذا المحرك يكون العضو الدائر عبارة عن قرص من مادة عازلة مثل «الفير».. يثبت مع محور الدوران وترص الأسلاك على شكل لفات وتلتصق على جهة واحدة من القرص أو على الجهتين وتوصل إلى

في الشكل رقم (١). ويمكن تصنيع الكوب من أية مادة عازلة غير معدنية.. ويفضل الألومنيوم لأنه يسبب عزمًا قسرياً مع مجال العضو الثابت يساعد على توقف المحرك فور فصل التيار عن العضو الدائر.. بالإضافة إلى أن أسطوانة الألومنيوم كتلتها صغيرة وذات متانة عالية مع سمكها الصغير.. ويتم وضع الموصلات بضروة لف تائل آلات التيار المستمر العادية إلا أنها تكون مخصصة بانتظام على سطح الأسطوانة من الخارج بدلاً من وضعها في مجاري - كما في حالة محركات القوي - وهكذا يصبح الجزء الدائر عبارة عن الأسلاك النحاسية والأسطوانة الألومنيوم وعضو التوجيه مع عامود الدوران.. وتم الاستغناء عن دوران القطب الصيدي ليصبح العضو الدائر بأخف وزن ممكن وبالتالي أقل عزم قصور ناتج لزيادة سرعة استجابة المحرك عند بدء الدوران والتوقف.

أما الأقطاب الموجودة في العضو الثابت فهي مثل أقطاب محركات القوي.. يمكن أن تكون مغناطيساً دائماً *Permanent Magnet* أو أقطاب حديدية على كل قطب ملف بحيث توصل الملفات مع بعضها إلى منبع تيار مستمر.. ورغم أن العضو الدائر يغذي أيضاً بمنبع تيار

تتحقق في محرك «السرفو» سرعة استجابة المحرك.. ويتمثل العامل الرئيسي لتحقيق هذا الشرط في إنقاص عزم العضو الذاتي للمحرك إلى أقل قيمة ممكنة.. وحيث أن عزم العضو الذاتي (d) يتناسب مع طول العضو الدائر للمحرك (L) ومع مربع قطر العضو الدائر (D<sup>2</sup>) أي أن  $d \propto L D^2$  فإنه لنفس قدرة وحجم العضو الدائر يتم إنقاص عزم العضو الذاتي بإنقاص قطر العضو الدائر (D) وزيادة طوله (L) وهذا الشكل هو أهم مظهر خارجي يمكن به معرفة محرك «السرفو» من محرك القوي.

وتتنوع محركات «السرفو» بين محركات تعمل على التيار المستمر وأخرى تعمل على التيار المتردد ومن أهم أنواع محركات التيار المستمر «السرفو» ما يلي:

### ١- المحرك ذو العضو الدائر المفرغ *Hollow Rotor DC Servo Motor*

يتكون هذا المحرك من عضو ثابت يشبه العضو الثابت لأي محرك تيار مستمر.. إلا أنه أقل في القطر وأكبر في الطول.. أما العضو الدائر.. فقد تم تثبيت الجزء الحديدي له من جهة واحدة مع أحد أوجه المحرك لإنقاص عزم العضو الذاتي ولا يمكن الاستغناء عنه لأنه يسبب زيادة المجال المغناطيسي لكل من العضو الثابت والعضو الدائر حتى يزداد عزم المحرك.. وهذا الجزء عبارة عن أسطوانة من الحديد الصمت بها ثقب يسمح بدوران محور دوران المحرك فيه.. أما موصلات العضو الدائر *Ar-* mature التي يمر بها التيار وينتج منها مجال العضو الدائر ويحدث عليها قوة وعزم الدوران.. فقد تم رصها ولصقها جيداً على أسطوانة من الألومنيوم على شكل كوب تثبيت قاعدته مع محور الدوران كما يثبت عضو التوجيه *Commutator* مع محور الدوران جهة قاعدة الكوب كما

ما زالت المحركات الكهربائية تلقى اهتماماً كبيراً لتطوير تصميماتها وإنشائها بهدف تحسين خواصها لتلبي بالاحتياجات المتعددة للأعمال الميكانيكية المختلفة.. وأكثر هذه المحركات تطوراً في تصميماتها هي محركات «السرفو».. وهذه المحركات تستخدم في أغراض التحكم الكثيرة جداً بدءاً من أجهزة الملاحة أو الرسم بالحاسبات الإلكترونية وأجهزة الروبوت إلى أجهزة الطائرات وأجهزة الرادار.

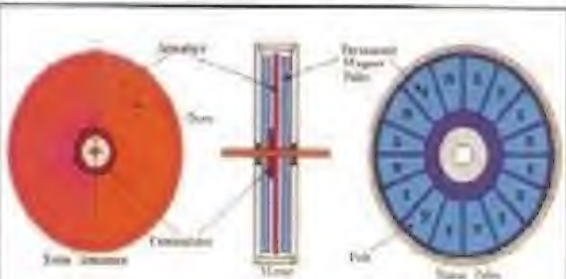
ومحرك «السرفو».. هو المحرك الكهربائي الذي يحقق الآتي:

١- الاستجابة فائقة السرعة *Fast Response* لتوصيل وفصل المتبع الكهربائي.. بمعنى.. أن المحرك يجب أن تصل سرعته إلى السرعة المقيدة له فور توصيله بالمتبع الكهربائي.. ولا يجب أن يأخذ المحرك فترة زمنية للوصول إلى سرعته.. كما أن المحرك يجب أن تصل سرعته إلى الصفر فور فصل المتبع عن المحرك.

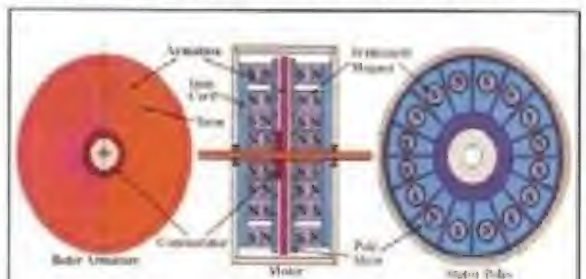
٢- أن يقلل المحرك تغيير سرعته بعلاقة خطية مع جهد أو تردد المتبع.. أي أن جهد المتبع إذا زاد بنسبة ١٠٪ مثلاً فيجب أن تزيد السرعة بنفس النسبة (١٠٪) وذلك في المحركات «السرفو» التي تتغير سرعتها بتغير الجهد.. أما المحركات التي تتغير سرعتها بتغير التردد فيجب أن تكون نسبة تغير السرعة بنفس نسبة تغير التردد.

٣- أن يبقى المحرك مستقرًا في الأداء مهما تغير عزم الحمل المحدد له أو تم زيادة أو تخفيض قيمة جهد أو تردد المتبع المسلط عليه المحرك دون أن يزلزلق أو ينتقل *Slipping* عن الوضع المحدد له بهذا التغير سواء في الجهد أو التردد.

٤- أن يقلل المحرك تكرار عمليات الفصل والتوصيل مهما تعددت.. ومن أهم الشروط التي يجب أن

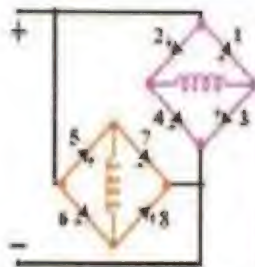


شكل رقم (٣): محرك التيار المستمر «السرفو» القرصي ذو الأقطاب غير البارزة



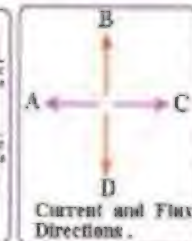
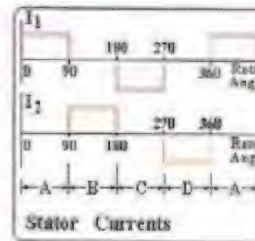
شكل رقم (٢): محرك التيار المستمر «السرفو» القرصي ذو الأقطاب البارزة





Case	Diode Number
A	1 , 4
B	6 , 7
C	2 , 3
D	5 , 8

Sequence of Diodes Connections.



شكل رقم (٥): توصيل ملفي العضو الثابت بالتتابع خلال أربع مراحل.

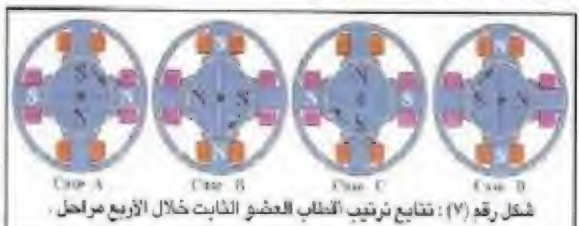
العضو الثابت للمحرك بحيث يكون أمام كل مرحلة صغيرة مثبتة مع العضو الثابت تقوم بإسقاط شعاع ضوئي على الموحد حتى يصبح في وضع توصيل On .. ويكون بين اللعبة والموحد قرص رقيق مثبت على محور دوران المحرك لكي يدور القرص مع دوران العضو الدائم ويكون بالقرص جزء مغزلي يسمح بسقوط ضوء اللعبة على الموحد ليتكون في وضع On خلال فترة وبمدها يقع الجزء غير المغزلي من القرص بين الموحد واللمبة فيمنع سقوط ضوء اللعبة على الموحد ويتحول الموحد إلى وضع الفصل Off .. وأحياناً يستخدم ترانزستور ضوئي بدلاً من الموحد الضوئي.

ويتم توصيل المرحلات الضوئية مع الملفين ومنبع التيار المستمر كما بالشكل رقم (٥)، حيث يستخدم مع كل ملف أربعة مرحلات ضوئية. ويتم ترتيب توصيل المرحلات كما بالجدول الموضح بالشكل رقم (٥) حيث يتم أولاً في الحالة A توصيل الموحد رقم 1 والموحد رقم 4 فيمر التيار في الملف الأمامي في اتجاه من اليمين إلى اليسار وبالتالي يكون مجال العضو الثابت في هذا الاتجاه A كما بالشكل رقم (٥). ومع حركة دوران العضو الدائم يتم توصيل الموحد رقم 6 والموحد رقم 7 فيمر

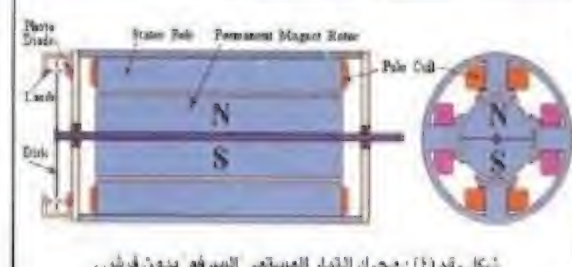
بشكل القطبان الراسيان ملفاً واحداً في الاتجاه الرأسي كما في الشكل رقم (٥) .. وبشكل القطبان الأفقيان الملف الأفقي. ولكي يدور العضو الدائم .. يستخدم نظام - يتم في كثير من أنواع محركات «السرفو» أو محركات القوى التي تستعمل على أقطاب مغناطيس دائم في العضو الدائم وتعمل على منبع تيار مستمر - يقوم على إمرار التيار المستمر في ملفات أقطاب العضو الثابت بحيث ينشأ من العضو الثابت قطبان - أي ينشأ عدد أقطاب العضو الدائم - ولكن أقطاب العضو الثابت يجب أن تكون على محور متعاكس مع محور أقطاب العضو الدائم.. أي أن بينهما زاوية في الفراغ مقدارها ٩٠ درجة كهربية - حتى يكون عزم دوران المحرك باكبر قيمة.

ومع دوران العضو الدائم .. يجب تبديل توصيل التيارات بين الملف الرأسي والملف الأفقي وفي اتجاه يحافظ على نفس اتجاه دوران العضو الدائم .. ويتم ذلك بالتتابع بالإضافة على نفس اتجاه دوران العضو الدائم .. ولا يجب أبداً تبديل التيار أوتوماتيكياً مع الزمن .. لأن سرعة دوران المحرك تتغير من العزم إلى قيم مختلفة.

وتستخدم لذلك عدة موحلات ضوئية Photo Diodes تتحدث مع



شكل رقم (٧): تتابع ترتيب أقطاب العضو الثابت خلال الأربع مراحل.



شكل رقم (٦): محرك التيار المستمر السرفو بدون فرش.

عند القرص في جهة بحيث يكون أمامه ثامناً من الجهة الأخرى للقرص قطب جنوبي S لتساعد الأقطاب بعضها البعض بحيث تزداد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق قرص العضو الدائم.

وفي الأنواع الحديثة من هذا المحرك تصنع أقطاب العضو الثابت بحيث تكون غير بارزة ويظهر العضو الثابت بشكل قرص من قطعة واحدة مستوية - شكل رقم (٣) - حيث ساعد هذا الشكل في إنقاص حجم المحرك بنسبة كبيرة وأصبح تصميمه وتصنيعه وتكلفته أبسط.

### ٣- محرك «السرفو» بدون فرش Brushless DC Servo Motor

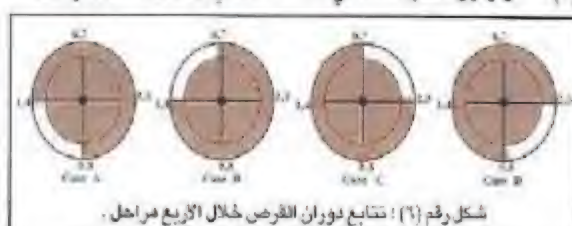
نظراً لما للفرش الكهرومغناطيسية وعضو التوحيد من مشاكل كثيرة بسبب تآكل الفرش من الاحتكاك بعضو التوحيد وخدوش شرارة بين الفرش وعضو التوحيد تسبب تآكلاً أيضاً في عضو التوحيد مما يؤدي إلى حاجة هذه المحركات للصيانة المستمرة ويصبح عمرها الافتراضي قصيراً. فلفي هذا المحرك تم الاستغناء عن كل من عضو التوحيد والفرش وأصبح المحرك يتكون من عضو دائر عبارة عن أقطاب مغناطيسية دائمة Permanent Magnet net Poles - تكون قطبين أو أكثر. ويوضح الشكل رقم (٥) مكونات هذا النوع من محركات «السرفو» عندما تكون أقطاب العضو الدائم قطبين فقط.

ولكي يتم دوران هذا العضو الدائم فإن العضو الثابت يجب أن يشمل على عدد مضاعف من أقطاب العضو الدائم .. وتكون أقطاب العضو الثابت إما بارزة Salient Poles كما في الشكل رقم (٢) .. أو غير بارزة بشكل أسطواني Cylindrical Poles ويوصل ملفاً كل قطبين متقابلين على التوالي أو على التوازي .. وبذلك

عضو توحيد Commutator يثبت أيضاً على القرص. ويكون شكل كل لفة كما بالجزء الأيمن من قرص العضو الدائم Rotor Armature الموضح في الشكل رقم (٢) .. وعادة لا يستخدم القرص في هذا النوع من أي معدن مثل الألومنيوم لكن التوصليلات واللحامات مع عضو التوحيد وصعوبة عزلها عن الألومنيوم .. برغم ميزة الألومنيوم في إيجار عزم فرطتي يساعد على سرعة توقف المحرك عند فصل التيار عن العضو الدائم .. وأحياناً تكون أسلاك العضو الدائم مطبوعة على سطح القرص «الغبر» من الجهتين بنفس نظام الدوائر المطبوعة Printed Circuits .. ويكون عضو التوحيد في جميع الحالات في جهة واحدة من القرص وتوصل إليه جميع الملفات في جهتي القرص.

أما العضو الثابت .. فيتكون من قرص من الحديد Iron Core وتتمسك على محيطه مغناطيسيات دائمة .. ويثبت على كل مغناطيس حشوة قطب Pole Show لزيادة مساحة القطب وبالتالي زيادة الطول الفعال من موصلات العضو الدائم لزيادة العزم .. وبذلك يأخذ هذا الجزء من العضو الثابت الشكل الموضح في الجزء الأيمن من الشكل رقم (٢). ويوضع هذا الجزء بحيث يواجه حذاء القطب من جهة قرص العضو الدائم ويكرر جزء آخر بنفس هذا الشكل من العضو الثابت في الجهة الأخرى من قرص العضو الدائم .. أو يمكن الاكتفاء بجهة واحدة من العضو الثابت على أن تكون الحافة الثانية قرصاً حديدياً فقط لاستكمال مسار خطوط المجال المغناطيسي .. وفي هذه الحالة تقل خطوط المجال المغناطيسي وينقص عزم المحرك.

ويراعى في حالة تماثل جهتي العضو الثابت - كما بالشكل رقم (٢) - أن يكون القطب الشمالي N

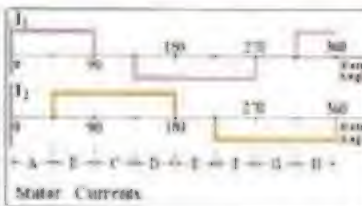


شكل رقم (٦): تتابع دوران القرص خلال الأربع مراحل.



Case	Diode Number	Case	Diode Number
A	1, 4	F	2, 3
B	1, 4, 6, 7	G	2, 3, 5, 8
C	6, 7	H	5, 8
D	6, 7, 2, 3		

Sequence of Diode Connections



شكل رقم (٨) : تتابع توصيل ملفي العضو الثابت خلال ثمان مراحل

وفي هذه الطريقة يبقى التيار دائماً باللف الألفي والتيار دائماً باللف الرأسي طوال زاوية دوران العضو الدائر مقدارها ١٢٥ كما بالشكل رقم (٨) بدلاً من ٩٠ في الطريقة السابقة. حيث يكون الجزء المفرغ من القرص الدوار مستمسكاً لزاوية ١٢٥. ويدور القرص من حالة إلى أخرى بزاوية ٤٥ كما بالشكل رقم (٩). وبذلك ينشأ في الحالة A قطبان في الاتجاه الأفقي، أما في الحالة B فينشأ قطبان في الاتجاه الرأسي مع قطبين في الاتجاه الأفقي كما في الشكل رقم (١٠). حيث يلاحظ ترتيب الأقطاب بحيث تكون قطب شمالي N يليه قطب شمالي ثان يليه قطب جنوبي S ثم قطب جنوبي ثان حتى تكون محصلة الأقطاب عبارة عن قطبين فقط شمالي وجنوبي كلاهما باتساع كبير.

ولا يجوز أن يكون ترتيب الأقطاب شمالي ثم جنوبي ثم شمالي ثم جنوبي لأنها في هذه الحالة سوف تعمل أربعة أقطاب من العضو الثابت. ومع قطبين من العضو الدائر فلن عزم الدوران سيكون صغيراً ولن يدور العضو الدائر.

والترتيب الصحيح لتتابع أقطاب العضو الثابت في الحالات الثمانية من A إلى H يجب أن يكون في اتجاه مع دوران العضو الدائر كما يوضحه الشكل رقم (١٠).

في العدد القادم:  
التحكم في محركات  
التيار المستمر «السرفو»

حيث K مقدار ثابت. وخلال الحالة A ومع دوران العضو الدائر نقل الزاوية δ، فيتناقص العزم حتى نهاية الحالة A ثم يزيد مع بداية الحالة B ثم يتناقص وهكذا. ولزيادة العزم نستخدم طرق أخرى لتتابع توصيل الموحدات. ويوضع الشكل رقم (٨) طريقة أفضل لتتابع توصيل الموحدات حيث يتم التبديل كل ٤٥ بدلاً من ٩٠ خلال ثمانية حالات من A إلى H بدلاً من الأربعة حالات من A إلى D.

وفي هذه الطريقة، يتم توصيل الموحد 1، 4 في الحالة A فيجذب التيار في الملف الأفقي من اليمين إلى اليسار حيث يأخذ المجال المغناطيسي الاتجاه الأفقي المين بالوضع A في الشكل رقم (٨). وبعد ٤٥ لدوران العضو الدائر تصل إلى الحالة B حيث يبقى الموحدان 4، 1 في وضع توصيل ويضاف إليهما الموحدان 6، 7 حيث يصبحان في وضع توصيل. وبذلك يدور التيار في هذه الحالة في كل من الملفين الأفقي والرأسي معاً ليأخذ المجال المغناطيسي اتجاه الوضع B الذي تحرك بزاوية ٤٥ عن الوضع A كما بالشكل رقم (٨). ثم نصل إلى الحالة C حيث يدور التيار في الملف الرأسي ويتفصل عن الملف الأفقي لأنه يتم في هذه الحالة C توصيل الموحد 6 و 7 فقط. وهكذا، تتغير أوضاع التوصيل والفصل في بقية الحالات حتى الحالة H في لفة دوران واحدة العضو الدائر ثم تتكرر نفس الحالات في اللفة الثانية وما بعدها وهكذا.

B فيجذب الضوء عن الموحد 1، 4 وبالتالي يقطع التيار عن المرور بمسار هذين الموحدين خلال الملف الأفقي لتصل الموحد 7 إلى وضع الفصل OFF. (لا أن الجزء المفرغ من القرص يكون قد تحرك ليواجه موحد 6، 7 حيث يحولهما إلى وضع التوصيل ON بعد أن كانا في وضع الفصل OFF ليمر التيار خلال الملف الرأسي. وهكذا يتم التحول أوتوماتيكياً أيضاً من الحالة B إلى الحالة C والحالة D ثم تتتابع هذه الحالات مرة أخرى لكل لفة دوران للعضو الدائر.

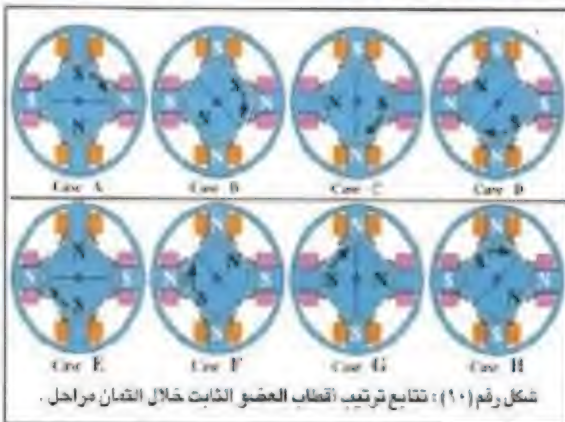
ويتم توزيع الموحدات الثمانية وليانها وتثبيتها مع جسم المحرك بحيث تأخذ الأوضاع الموضحة في الشكل رقم (٦). ومع دوران العضو الدائر خلال المراحل الأربعة، يتحرك القرص بالنسبة للموحدات كما بهذا الشكل. وبذلك يتم تغيير أقطاب العضو الثابت مع حركة دوران العضو الدائر في المراحل الأربعة كما بالشكل رقم (٧) حيث يلاحظ أن حركة تغيير أقطاب العضو الثابت تتم في اتجاه دوران واحد هو نفس اتجاه دوران العضو الدائر.

ويلاحظ أنه في بداية الحالة A فإن أقطاب العضو الثابت تكون متعامدة في الفراغ مع أقطاب العضو الدائر. أي أن الزاوية بينهما δ تكون ٩٠ فيكون عزم دوران المحرك T أكبر ما يمكن لأن العزم يتناسب مع مجال العضو الثابت 0. ومجال العضو الدائر φ، وجيب الزاوية بينهما δ، أي أن  $T = K\phi_0\phi_s \sin(\delta)$

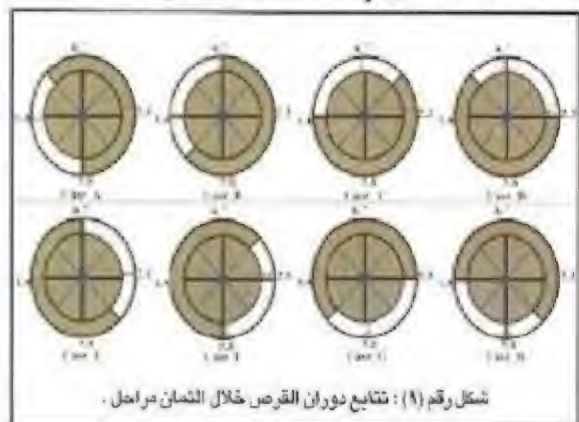
التيار في الملف الرأسي في اتجاه إلى أعلى في الحالة B. وفي الحالة الثالثة C يتم توصيل الموحد رقم 2 والموحد رقم 3 ليتحرك مجال العضو الثابت إلى الوضع C في اتجاه أفقي. وفي الحالة الرابعة D يتم توصيل الموحد رقم 5 والموحد رقم 8 ليمر التيار في الملف الرأسي في الاتجاه إلى الأسفل المين في الشكل بالوضع D. وبذلك يكون العضو الدائر قد تحرك لفة دوران واحدة. وتتكرر الخطوات الأربعة لكل لفة دوران للعضو الدائر بحيث تتم هذه الخطوات أوتوماتيكياً مع دوران العضو الدائر.

وبذلك نجد أن التيار في الملف الأفقي والتيار في الملف الرأسي لا يتغير مع زاوية دوران العضو الدائر بالوضع المين في الشكل رقم (٥) حيث نجد أن تيار الملف الأفقي يمر خلال زاوية ٩٠ ويعددها يقطع هذا التيار خلال زاوية أخرى ٩٠. ثم يوصل ولكن في اتجاه مضاد خلال زاوية ٩٠. ثم يقطع خلال زاوية ٩٠ ثم يكرر كل ذلك. ويأخذ تغير التيار في الملف الرأسي نفس شكل تغير التيار في الملف الأفقي ولكن بزاوية تحريك Shift مقدارها ٩٠ بحيث تكون فترات الفصل للتيار في الملف الأفقي هي فترات توصيل التيار في الملف الرأسي كما بالشكل رقم (٥).

ويتم توصيل الموحدات الثمانية بالتتابع السابق عن طريق القرص المثبت مع محور دوران العضو الدائر والذي به جزء مفرغ يسمح بسقوط الضوء الناتج من اللعبة على الموحد المقابل لها. ففي الحالة A يواجه الجزء المفرغ من القرص كلاً من الموحد 1 والموحد 4. وبذلك يستقبل ضوء من اللعبة المقابلة للموحد 1 وضوء من اللعبة المقابلة للموحد 4 على هذين الموحدين ليتحولان إلى وضع التوصيل ON - الشكل رقم (٦) ويدور القرص مع العضو الدائر يحل الجزء المصنوع من القرص محل الجزء المفرغ في الحالة



شكل رقم (١٠) : تتابع ترتيب أقطاب العضو الثابت خلال ثمان مراحل



شكل رقم (٩) : تتابع دوران القرص خلال الثمان مراحل



# محركات «السرفو» Servo Motors

## (٢) التحكم في محركات التيار المستمر «السرفو»

د. فتحي عبد القادر

رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شبن الكوم

بالشكل رقم (٢) عند قيم مختلفة لعزم الحمل  $T_L$  لكل من محرك «السرفو» ومحرك القوى.

وفي هذا الشكل، نجد أن سرعة الدوران تزيد خطياً مع زيادة جهد التحكم على عضو الاستنتاج. وهذه الخاصية الخطية هامة ولازمة لمحرك «السرفو» لتبسيط مكونات جهاز التحكم في السرعة، ونلاحظ أن المحرك إذا كان بدون حمل فإن أي جهد ولو صغير يؤدي إلى دوران المحرك. أما إذا كان المحرك سيبدأ دورانه وهو محمل فإنه يحتاج إلى جهد لكي يبدأ في الدوران. ويزداد هذا الجهد اللازم للدوران كلما زاد الحمل على المحرك. وعند الاحتمال يكون تيار عضو الاستنتاج  $I_a$  قريباً من الصفر. وبذلك يكون الجزء  $V_a$  في معادلة السرعة قريباً من الصفر. أي أن السرعة  $N$  تتناسب مباشرة مع الجهد  $V_a$ ، أي أن  $N \propto V_a$ . ويكون خط تغير السرعة واحد لكل من محرك «السرفو» ومحرك القوى كما في الشكل رقم (٢).

ومع زيادة عزم الحمل على المحرك وحسب أن العزم يتناسب مع تيار عضو الاستنتاج أي أن  $I_a \propto T_L$ ، فإنه لنفس عزم الحمل وعند سرعة دوران ثابتة فإن جهد التحكم اللازم لهذه السرعة يكون كبيراً في محرك «السرفو» عنه في محرك القوى. وذلك لزيادة الجزء  $V_a$  في محرك «السرفو» عن محرك القوى بسبب زيادة  $I_a$  في محرك «السرفو» عنها في محرك القوى - وكما في الشكل

لضبط زاوية إشعال «الفايرستور» أو ضبط أي نظام يسيطر زاوية الإشعال. وهذا الضبط لا يؤدي إلى تشغيل «الفايرستور» بل يتم الضغط على المفتاح (ON) ليتم تغذية بوابة Gate «الفايرستور» حتى يعمل المحرك ويدور بحيث يصل إلى سرعته في وقت صغير جداً. ويبقى المحرك دائراً طوال فترة الضغط على المفتاح (ON). وعند عدم الضغط على هذا المفتاح يوقف المحرك فوراً. ويمكن تكرار الضغط على المفتاح حتى وصول الحمل إلى الوضع المطلوب. ولعكس اتجاه الدوران يتم تبديل طرفي عضو الاستنتاج.

ولكن، كيف تتغير سرعة محرك «السرفو» بهذه الطريقة؟ وكيف يتأثر أداء المحرك بتغير عزم الحمل؟ وما الفرق بينه وبين محرك القوى مع هذا الأداء؟

حيث أن سرعة الدوران  $N$  لأي محرك تيار مستمر تتناسب طردياً مع القوة الدافعة الكهربائية  $E$  لعضو الاستنتاج وعكسياً مع مجال الأقطاب  $\phi$ ، أي أن  $N \propto E/\phi$ . وحيث أن  $E = V_a - I_a R_a$ ، وعندما يكون جهد التحكم المسلط على عضو الاستنتاج  $V_a$  وتيار عضو الاستنتاج  $I_a$  ومقاومة عضو الاستنتاج  $R_a$  ومع ثبات مجال الأقطاب  $\phi$  عند قيمته المقتدة في هذه الطريقة فإن سرعة الدوران  $N$  تصبح  $N \propto (V_a - I_a R_a)$ . ومن هذه العلاقة نجد أن سرعة دوران المحرك  $N$  تتغير بتغير جهد التحكم على عضو الاستنتاج  $V_a$  كما

محركات التيار المستمر التقليدية حيث تصل إلى حوالي ١٠ أضعاف. وفيما الفرق جوهري وأساسي لتفسير خواص الأداء المختلفة لمحرك «السرفو» مع منظومات التحكم ويسبب اختلافات كثيرة مع خواص الأداء لمحركات التيار المستمر التقليدية.

وتتخصص منظومات التحكم في محركات «السرفو» في الطريقتين التاليتين:

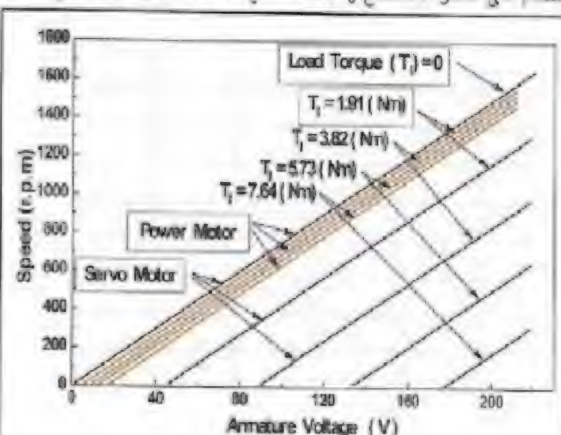
### ١- التحكم في جهد عضو الاستنتاج Armature Control

يقصد بالتحكم هنا، التحكم في سرعة دوران محرك «السرفو» الذي يتم بتغيير الجهد المسلط على عضو الاستنتاج - مع تثبيت الجهد المسلط على ملفات المجال Winding-Field والذي يتم بتوصيل ملفات المجال إلى مصدر تيار مستمر ثابت الجهد بالقيمة المقتدة لملفات المجال. أما عضو الاستنتاج فيوصل إلى منبع جهد تيار مستمر بحيث يمكن التحكم في قيمة هذا الجهد وذلك باستخدام دوائر تقطيع إلكترونية Chopper Circuits. أما إذا كان منبع التيار ذا تيار متردد وجه واحد أو ثلاثة أوجه، فنستخدم تقنية توحيد Bridge Rectifier ثابتة الجهد مع ملفات المجال وتقنية توصيل «فايرستور» Thyristor مع عضو الاستنتاج كما بالشكل رقم (١) وذلك لتغيير الجهد المسلط على عضو الاستنتاج بتغيير زاوية إشعال «الفايرستور» Firing Angle. ولتشغيل محرك «السرفو» بهذا النظام، يتم أولاً ضبط السرعة المراد تشغيل المحرك بها وذلك بضبط مقاومة مشغيرة Potentiometer

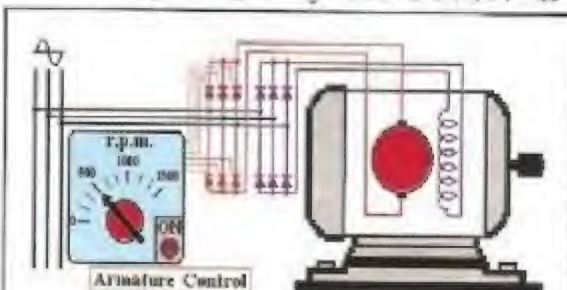
تختلف محركات «السرفو» التي تعمل على مصدر التيار المستمر DC Servo Motors اختلافات كثيرة عن محركات التيار المستمر التقليدية DC Power Motors. وأهم ما يميز محركات «السرفو» أنها تتضمن تكرار عمليات التشغيل والبدء Starting بأي عدد من المرات. وحيث أن محركات التيار المستمر التقليدية يجب أن يستخدم معها وسيلة بدء حركة - لأن تيار عضو الاستنتاج Armature عند البدء يزيد على عشرين ضعف تيار الحمل الكامل. وتتمثل وسيلة البدء في إضافة مقاومة متغيرة بالتوالي مع عضو الاستنتاج أو إنقاص جهد عضو الاستنتاج عند البدء.

ونظراً لتكرار الزاوية في بدء دوران محركات «السرفو» إلى جانب ضرورة سرعة الاستجابة Fast Response - فإنه لا يمكن إضافة مقاومة مع عضو الاستنتاج عند البدء ثم إنقاصها مع زيادة السرعة لأن ذلك يؤدي إلى تضارب التشغيل والإخلال بسرعة الاستجابة. ولهذا فإن سوصلات عضو الاستنتاج في محركات «السرفو» تكون ذات مساهمة قطع صغير مما يؤدي إلى زيادة مقاومة عضو الاستنتاج ذاته بحيث لا يحتاج لإضافة مقاومة بدء دوران. كما أن نقص مقطع الموصلات هذا يؤدي إلى خفض وزن عضو الاستنتاج وبالتالي خفض عزم القصور الذاتي للعضو الدائر مما يساعد على زيادة سرعة استجابة المحرك.

وبهذا، نجد أن مقاومة عضو الاستنتاج في محركات «السرفو» تكون أكبر بكثير من نظيرتها في

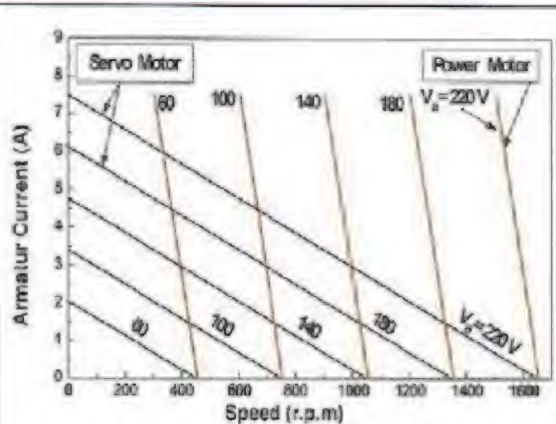


شكل رقم (٢): تغير السرعة مع تغير جهد التحكم في عضو الاستنتاج.

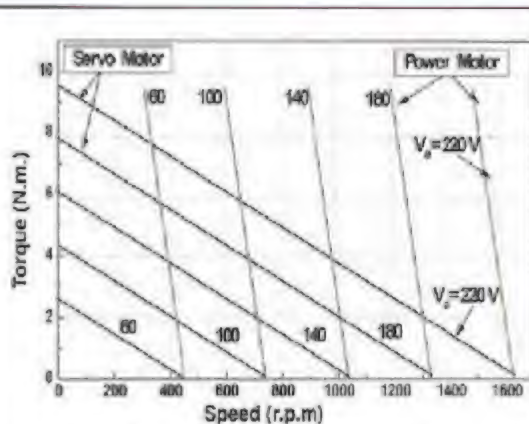


شكل رقم (١): منظومة التحكم في جهد عضو الاستنتاج.





شكل رقم (٤): تغير تيار عضو الاستنتاج مع تغير السرعة عند جهود تحكم مختلفة في عضو الاستنتاج.



شكل رقم (٣): تغير العزم وتأثيره على تغير السرعة منظمه التحكم في عضو الاستنتاج.

قيمة جهد تحذية ملفات الأنطاب مع بقاء الجهد المسلط على عضو الاستنتاج ثابتاً عند القيمة المقننة. ويلاحظ.. أن هذا الجهد المقنن ورغم شأته عندما يكون المحرك ساكناً فإنه لا يسبب مرور تيار عالٍ مثل خطورة على محرك «السرفو» كما يحدث لمحرك القوى حيث يمر تيار يزيد على عشرين ضعف تيار الحمل الكامل.. بل يمر في محرك «السرفو» تيار يساوي تيار الحمل الكامل فقط.. لأن مقاومة عضو الاستنتاج عالية في محرك «السرفو».

وفي هذه الطريقة للتحكم.. يتم توصيل طرفي عضو الاستنتاج إلى القنطرة ثابتة الجهد كما في الشكل رقم (٨). عندما يكون المصدر ثنائياً مفرداً ثلاثي الأوجه.. وتوصيل ملفات المجال في محرك «السرفو» إلى القنطرة التي تحتوي على وحدات «التأيرستور» حيث يمكن التحكم في قيمة جهد الخرج إلى ملفات المجال.

وحيث أن سرعة المحرك تتناسب

قدرة خرج محرك «السرفو» نقل عند نفس العزم بنفس التيار لزيادة القدرة المقنونة في مقاومة عضو الاستنتاج الكبيرة في حالة محرك «السرفو» وحيث تكون السرعة أقل في هذا المحرك.. ويخضع جهد التحكم

وتؤدي محصلة قدرة الخرج وقدرة الدخل إلى كفاءة المحرك Motor Efficiency المبينة في الشكل رقم (٧) - حيث تنخفض كفاءة محرك «السرفو» عن كفاءة محرك القوى بسبب القدرة العالية المستهلكة في مقاومة عضو الاستنتاج الكبيرة في محرك «السرفو».. ويتم التضحية بالكفاءة المنخفضة في محرك «السرفو» في سبيل الحصول على خواص «السرفو».. إلا أنه باختصار عزم حمل مناسب يمكن أن يعمل محرك «السرفو» عند الكفاءة العظمى لكل سرعة بالجهد المناسب لها.

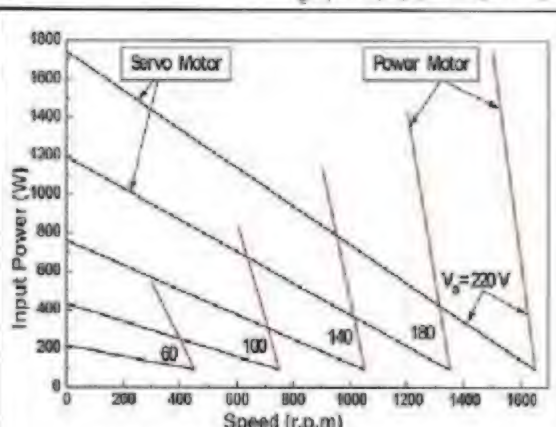
٢- التحكم في جهد المجال Field Control

في هذه الطريقة.. يتم التحكم في سرعة محرك «السرفو» بالتحكم في

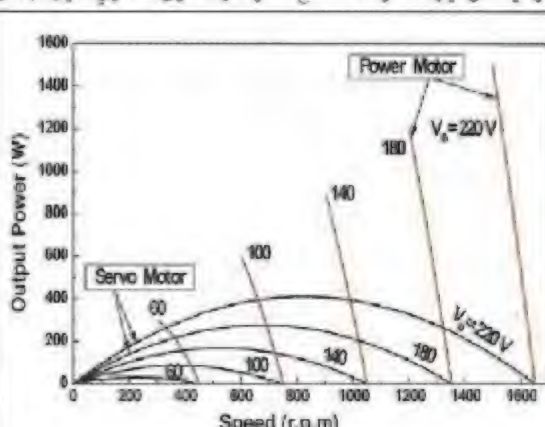
يتناسب مع العزم بعلاقة خطية.. فإن تغير هذا التيار مع تغير السرعة والعزم لكل من محرك «السرفو» ومحرك القوى يأخذ شكلاً مشابهاً لتغير العزم كما في الشكل رقم (٤) وفيه نجد أن محرك القوى عند أي جهد وبزيادة العزم حتى عزم الحمل الكامل (٩.٥ نيوتن متر) يزداد التيار حتى تيار الحمل الكامل (٧.٥ أمبير) .. كما أنه يمكن تحميل المحرك بعزم الحمل الكامل حتى عند الجهود المنخفضة.. أما محرك «السرفو» فإنه لا يمكن تحميله بنفس عزم الحمل الكامل إلا أن جهد عضو الاستنتاج عن الجهد المقنن وبالتالي يتناقص التيار عن تيار الحمل الكامل.

وتتغير قدرة خرج المحرك مع تغير السرعة عند الجهود المختلفة كما بالشكل رقم (٥) .. حيث تكون قدرات خرج محرك «السرفو» أقل منها في محرك القوى.. أما قدرة دخل المحرك بالشكل رقم (٦) فتكون عالية عند الجهد المقنن وتتساوى عند نفس العزم لكل من محرك «السرفو» ومحرك القوى لتساوي التيار.. إلا أن

تظهر هنا خاصية هامة وقاسية بين محرك «السرفو» ومحرك القوى.. ففي محرك القوى تتناقص السرعة بدرجة بسيطة مع زيادة عزم الحمل على المحرك عند ثبات جهد عضو الاستنتاج  $V_a = 220V$  وهو جهد التحكم كما في الشكل رقم (٢) .. بينما تتناقص السرعة بدرجة كبيرة في محرك «السرفو» مع زيادة عزم الحمل كما بالشكل وذلك بسبب زيادة مقاومة عضو الاستنتاج  $r_a$  اللازمة للاستغناء عن وسيلة بدء الحركة في محرك «السرفو» ومع إنقاص الجهد تنقص السرعة كما بالشكل مع بقاء جميع الحالات خطية عند جميع العزوم والسرعات والجهود.. وبذلك تتضح أهمية المحافظة على خاصية العلاقات الخطية اللازمة لمحركات «السرفو» كما أن ميل المنحنى يبقى ثابتاً عند أي جهد وأي عزم مما يجعل ثابت العلاقات الخطية بنفس القيمة لأي عزم وأي جهد مما يؤدي إلى تبسيط مكونات جهاز التحكم في جهد عضو الاستنتاج. وحيث أن تيار عضو الاستنتاج

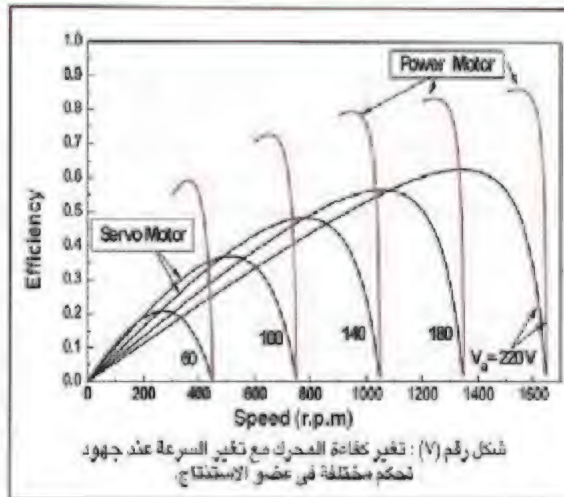
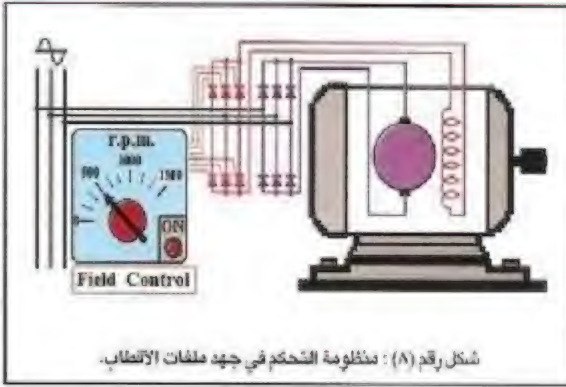


شكل رقم (٦): تغير قدرة دخل المحرك مع تغير السرعة عند جهود تحكم مختلفة في عضو الاستنتاج.



شكل رقم (٥): تغير قدرة خرج المحرك مع تغير السرعة عند جهود تحكم مختلفة في عضو الاستنتاج.





السرعة. فإن سرعة المحرك تتغير بتغير عزم الحمل عند جهود تحكم في المجال  $V_f$  ثابتة كما في الشكل رقم (١٠). حيث يتميز هذا الأسلوب بإمكانية الحصول على سرعات عالية تزيد على ضعف ما كان يتم الوصول إليه بمنظومة التحكم في جهد عضو الاستنتاج. ويلاحظ أنه برقم تغير السرعة مع تغير العزم لأي جهد  $V_f$  بشكل خطي فإن معدل هذا التغير - الذي يعبر عنه بميل خطوط الخواص - يختلف من جهد إلى آخر، مما يهتم بتغيير ثوابت علاقات جهاز التحكم في هذه المنظومة.

أما آثار عضو الاستنتاج - فإنه يتغير بتغير السرعة عند جهود تحكم في المجال  $V_f$  المختلفة كما بالشكل رقم (١١) حيث ينخفض التيار مع زيادة السرعة والتيارات العالية لعضو الاستنتاج عند أي سرعة تكون مع جهد تحكم المجال الأقل لنقص تيار المجال وتضيقه بزيادة تيار عضو الاستنتاج. وعلى الرقم من أن معدل تغير تيار عضو الاستنتاج مع تغير السرعة ثابت لكل جهد تحكم في المجال. فإن هذا المعدل يتغير من جهد إلى آخر. بينما كان هذا المعدل ثابتاً لأي جهد تحكم في منظومة التحكم من طريق جهد عضو الاستنتاج كما بالشكل رقم (٤).

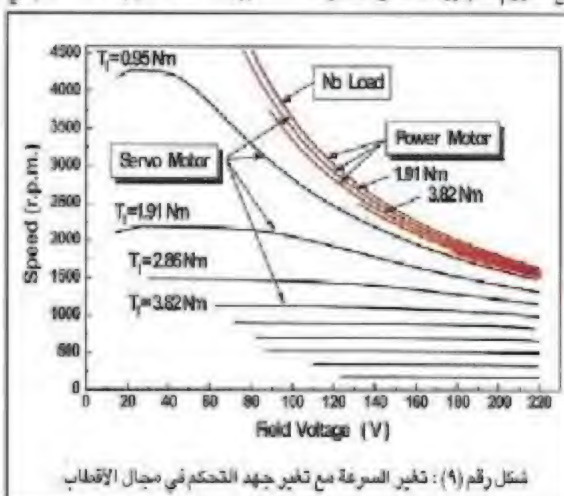
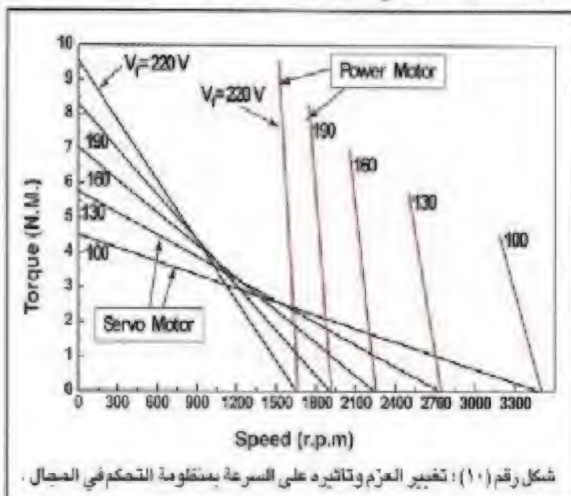
وفي منظومة التحكم بتغيير جهد المجال، تتغير قدرة خرج المحرك بتغير السرعة كما في الشكل رقم (١٢). ونظراً لزيادة مدى السرعة،

ويوجد معامل مهم في منظومات التحكم يسمى بمعامل الاضمحلال المصاحب  $Inherent Damping Factor (K_d)$ . وهذا المعامل يعبر عن معدل تغير العزم بالنسبة للسرعة. أي أن  $K_d = dT/dN$ . وكلما زاد هذا المعامل كانت منظومة التحكم أفضل لأن ذلك يعني أن السرعة تتغير قليلاً بتغير عزم الحمل، أي أن المحرك يحدث اضمحلالاً ويقاوم أي إخلال بالسرعة المضبوط عليها أو حدث تغير لعزم الحمل. ويوضح الشكل رقم (١٠) أن هذا المعامل  $K_d$  يكون بأعلى قيمة عند أكبر جهد تحكم في المجال  $V_f$  ويتساوى مع منظومة

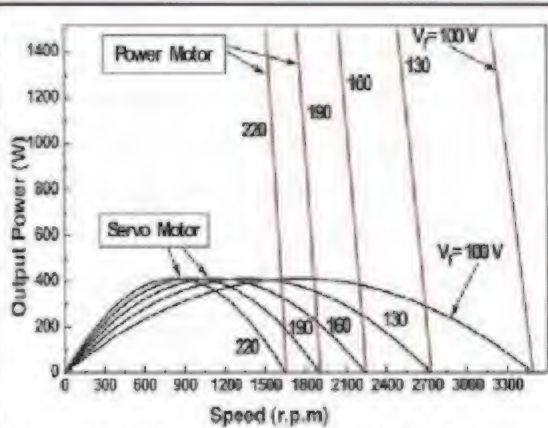
مع خفض  $V_f$  بدلاً من زيادتها مثال ما كان يحدث مع العزوم الصغيرة للحمل. أي أن تغيير جهد التحكم في المجال  $V_f$  مع العزوم الكبيرة يفشل في تغيير السرعة في محركات «السرعة» بجانب مشكلة عدم توفر العلاقة الخطية لتغير السرعة مع تغيير جهد التحكم في مجال الاقطاب. ولكن تبقى ميزة إمكانية الحصول على سرعات عالية وتحكم مناسب في السرعة عند عزوم الحمل الصغيرة. وهذه السرعات العالية يصعب الحصول عليها بنظام التحكم في جهد عضو الاستنتاج. أما في محركات القوي. ونظراً لصغر  $T_L$  وبالتالي صغر الجزء  $\omega \omega_L$  في معادلة السرعة - أي أن نقص السرعة نتيجة هذا الجزء يكون أقل بكثير من زيادة السرعة نتيجة لخفض  $V_f$  وبالتالي خفض  $I_a$  - فإن زيادة السرعة تتحقق بسهولة بخفض جهد التحكم في المجال في محركات القوي سواء كانت العزوم صغيرة أو كبيرة للحمل كما في الشكل رقم (٦).

وبهذا الأسلوب للتحكم في

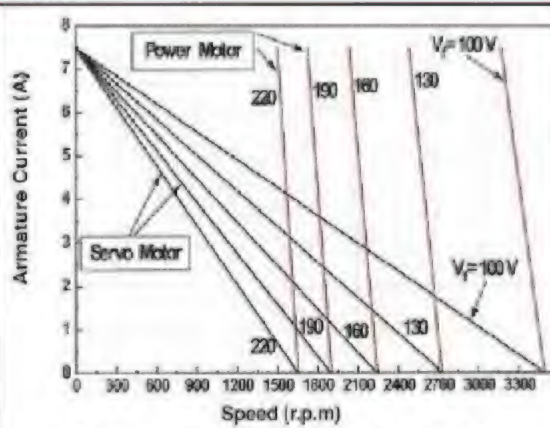
عكسياً مع مجال الاقطاب  $\phi$  الذي يتناسب طردياً مع تيار ملفات المجال أو جهود ملفات المجال  $V_f$ . فإن سرعة المحرك في هذه الطريقة للتحكم تكون  $V_f / (V_s \omega_L) \propto N$ . وبالتالي تتغير سرعة المحرك عكسياً مع تغير جهد المجال كما بالشكل رقم (٩) حيث تتناقص السرعة بزيادة جهد التحكم في المجال  $V_f$  عندما يكون المحرك بدون حمل أو مع أحمال خفيفة حيث يكون الجزء  $\omega \omega_L$  في معادلة السرعة صغيراً. أما مع عزوم الحمل الكبيرة فإن خفض الجهد  $V_f$  بهدف زيادة السرعة يتبعه خفض تيار المجال  $I_a$  وعند العزم الثابت للحمل  $T_L$  فإن  $(I_a \omega_L) \propto T_L$ . وبالتالي يزداد تيار عضو الاستنتاج  $I_a$  وزيادة كبيرة عند العزوم الكبيرة مما يزيد الجزء  $\omega \omega_L$  في معادلة السرعة حيث تنقص السرعة بسبب زيادة  $I_a$  بنسبة أكبر من زيادتها بسبب خفض  $V_f$ . وتكون النتيجة - مع العزوم الكبيرة - نقص السرعة







شكل رقم (١٢): تغير قدرة خرج المحرك مع تغير السرعة عند جهود تحكم مختلفة في المجال.



شكل رقم (١١): تغير تيار عضو الاستنتاج مع تغير السرعة عند جهود تحكم مختلفة في المجال.

ويحتم وجود المزايا والعيوب لكل من منظومتى التحكم في تشغيل محركات التيار المستمر «السرفو» العمل التي تمكن من اختيار منظومة التحكم المناسبة منها. فإذا كان الحمل يحتاج إلى تغير السرعة خلال مدى محدود وأقصى سرعة تقل عن ١٥٠٠ لفة/دقيقة.. فيفضل استخدام منظومة التحكم في جهد عضو الاستنتاج واختيار محرك بقدرة حوالي ضعف قدرة الحمل حتى يمكن تغيير السرعة خلال المدى المحدد. وكلما قل مدى تغير السرعة كلما أمكن استخدام محرك بقدرة أقرب إلى قدرة الحمل. أما إذا كان الحمل يحتاج إلى تغير السرعة خلال مدى كبير وإلى سرعات عالية تزيد على ١٥٠٠ لفة/دقيقة.. فيفضل استخدام منظومة التحكم في جهد المجال مع اختيار محرك بقدرة كبيرة في حدود ٣ أمثال قدرة الحمل.

#### في العدد القادم،

محركات التيار المتردد «السرفو»

المحرك فقط دون قنترات التوقف. كما يكون التيار صغيراً مع الأحمال الخفيفة مما يحافظ على الفرش وعضو التوحيد ويزيد من عمر المحرك وتقل حاجته للصيانة.

#### مزايا منظومة التحكم في جهد المجال:

- ١- إمكانية الحصول على سرعات عالية من المحرك.
- ٢- مدى كبير لتغير السرعة يزيد على ضعف المدى مع منظومة التحكم في جهد عضو الاستنتاج.
- ٣- استمرارية قدرة الفرج العالية التي يمكن الحصول عليها من المحرك خلال مدى كبير لتغير السرعة.
- ٤- كفاءة أعلى للمحرك عن حالة التحكم في جهد عضو الاستنتاج.
- ٥- قدرة جهاز التحكم والقدرة التي يتم التحكم فيها تكون صغيرة وفي حدود ١٠٪ من القدرة المناظرة مع منظومة التحكم عن طريق عضو الاستنتاج.. الأمر الذي يخفف سعر منظومة التحكم عن مثيلتها في جهد عضو الاستنتاج.

منظومة ومكونات جهاز التحكم.

٢- يبقى معدل التغير لأي من السرعة والعزم وتيار عضو الاستنتاج بالنسبة لجهد التحكم ثابتاً مع أي قيمة لجهد التحكم مما يزيد من تبسيط منظومة ومكونات جهاز التحكم.

٣- قيمة عالية وثابتة لمعامل الاضمحلال  $(dT/dN)$  مما يؤدي إلى سرعة استجابة المحرك للفصل والتوصيل وعكس اتجاه الدوران والتغيرات الطارئة في عزم الحمل.

٤- معانة عضو الاستنتاج أقل كثيراً من معانة ملفات الاقطاب مما يجعل ثابت الزمن  $Time Constant$  لعضو الاستنتاج صغيراً فيلزم زمن التيارات الانتعالية  $Transient Currents$  عند التحكم عن طريق عضو الاستنتاج مما يزيد من سرعة استجابة محرك «السرفو».

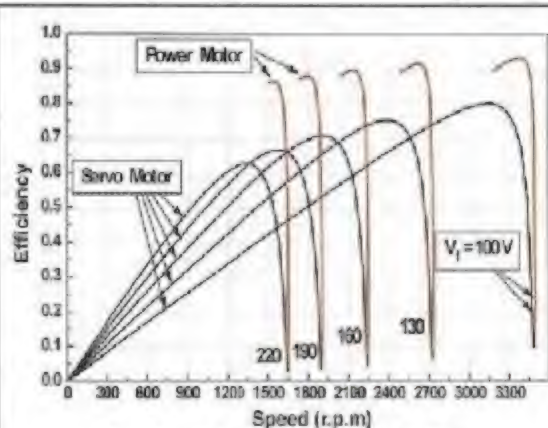
٥- يمر تيار عضو الاستنتاج عن طريق الفرش  $Brushes$  وعضو التوحيد  $Commutator$  عند دوران

مقد أمكن الحصول على قدرة خرج غطس في حدود ٤٠٠ وات من هذا المحرك خلال فترة تغير في السرعة من ٦٥٠ - ٢٠٠ لفة/دقيقة.. بدلاً من نفس القدرة لكن خلال مدى أقل لتغير السرعة من ٧٠٠ - ١٠٠٠ لفة/دقيقة بمنظومة التحكم في جهد عضو الاستنتاج - شكل رقم (٥).

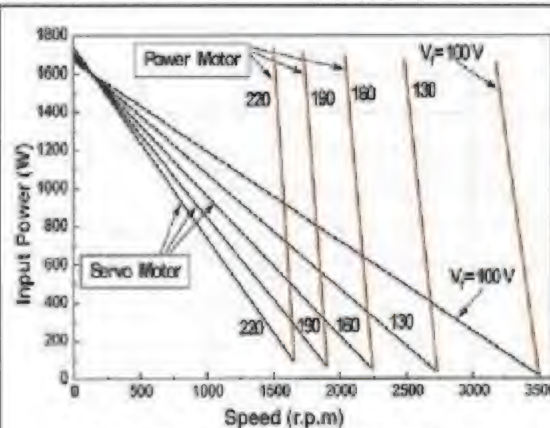
وتتغير قدرة دخل محرك «السرفو» مع تغير السرعة عند جهود تحكم مستقلة لدارة المجال كما بالشكل رقم (١٣). حيث تكون منخفضة في السرعات العالية، ولهذا تتحسن كفاءة المحرك في السرعات العالية بمنظومة التحكم في جهد المجال كما في الشكل رقم (١٤) حيث تصل الكفاءة إلى ٨٠٪ لهذا المحرك. بينما كانت أقصى كفاءة ٦٢٪ بمنظومة التحكم في جهد عضو الاستنتاج كما بالشكل رقم (٧).

#### مزايا منظومة التحكم في جهد عضو الاستنتاج:

١- تغير السرعة والعزم وتيار عضو الاستنتاج تغيراً خطياً مع تغير جهد التحكم مما يؤدي إلى تبسيط



شكل رقم (١٤): تغير كفاءة المحرك بتغير السرعة عند جهود تحكم مختلفة في المجال.



شكل رقم (١٣): تغير قدرة دخل المحرك مع تغير السرعة عند جهود تحكم مختلفة في المجال.

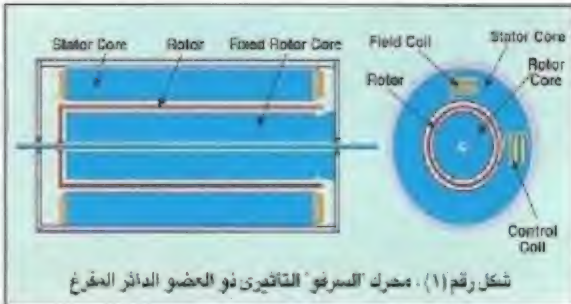


# محركات «السرفو» التآثيرية

## Induction Servo Motors

د. فتحي عبد القادر

رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شيبين الكوم



شكل رقم (١)، محرك «السرفو» التآثيري ذو العضو الدائر المغرق

يكون أداء المحرك مستقرًا Stable عند أية سرعة من السرعة حتى سرعة التزامن كما في الشكل رقم (٢). بينما كانت منطقة الاستقرار في محرك القوى قرب سرعة التزامن فقط كما بالشكل. والهدف الثاني من زيادة مقاومة العضو الدائر، هو إنقاص تيارات المحرك عند البدء حتى يتحمل تكرار البدء Multy Starting دون الحاجة لأي وسيلة منه دوران كما بالشكل رقم (٢).

بين الشكل رقم (٢) عزوم كل من محرك «السرفو» التآثيري ومحرك الوجه الواحد التآثيري عندما يتم تغذية ملف واحد فقط في أي من المحركين من مصدر تيار متردد. حيث ينشأ مجال مغناطيسي مستقر القيسمة والاتجاه ويقع في محور واحد في الفراغ هو محور الملف، ويسمى هذا المجال بالمجال المتذبذب Pulsating Field الذي يمكن تحليله إلى مجالين كل منهما دائري في الفراغ وثابت القيمة Ctr

المستمر «السرفو». قبل الجزء الحديدي اللازم لاستكمال مسار المجال المغناطيسي في العضو الدائر. يكون ثابتاً مع أحد جانبي المحرك كما بالشكل رقم (١). ولا يسمح بدورانه لكي يتقصر عزم القصور الذاتي للمحرك.

والعضو الثابت للمحرك Stator يعادل العضو الثابت لمحرك القوى التآثيري ذي الوجه الواحد، حيث يكون من النوع الاسطوانى Cylindrical وليس من النوع ذي الاقطاب البارزة Salient. ويوضع بالعضو الثابت مجموعتان من الملفات متعامدتان في الفراغ بنظام وضع ملفات البدء Starting والدوران Running في محرك الوجه الواحد التآثيري. إلا أن مجموعتي الملفات متماثلتين في عدد الملفات ومساحة مقطع الاسلاك النحاسية. بينما تختلف مجموعتا الملفات في محرك الوجه الواحد التآثيري. وتسمى إحدى المجموعتين بملف المجال Field Coil والمجموعة الثانية بملف التحكم Control Coil كما في الشكل رقم (١).

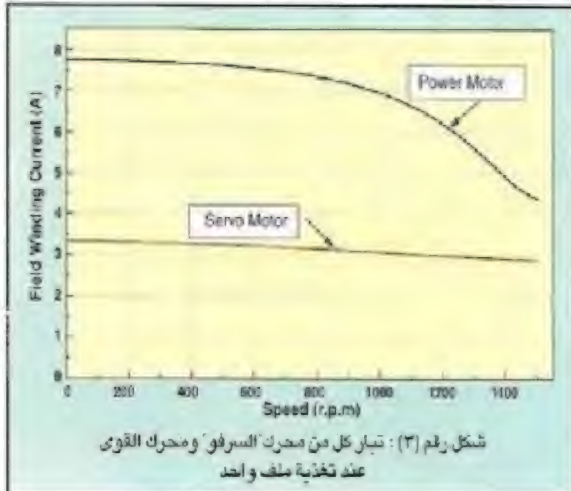
يؤدي الشكل الاسطواني المفرغ للعضو الدائر في محركات «السرفو» التآثيرية إلى زيادة مقاومة العضو الدائر إلى نحو عشرة أضعاف قيمتها في محركات القوى التآثيرية. وهذه الزيادة في المقاومة لازمة لتحقيق هدفين أساسيين. الأول جعل منحنى عزم المحرك مع السرعة يسيل بحيث

تتميز محركات «السرفو» التآثيرية على محركات التيار المستمر «السرفو» ببساطة التركيب وبالتالي رخص الثمن. وبعدم وجود فرش أو عضو توحيد Commutator أو حلقات انزلاق وبالتالي عدم حاجتها تقريباً إلى الصيانة مما يزيد من عمرها. ويصغر مخاطر الاحتكاك مما يصن من كفاءتها.

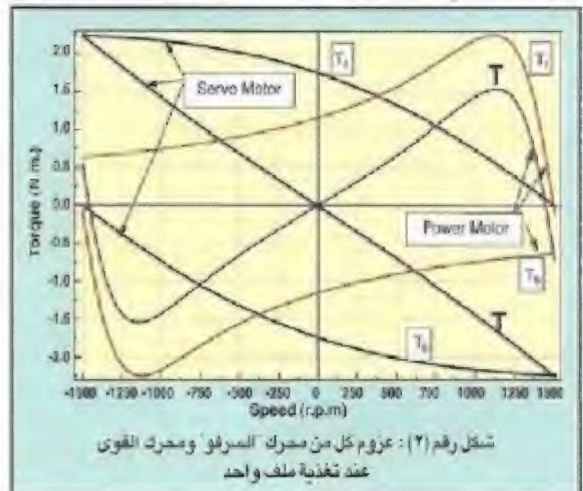
ولما كان من أهم متطلبات محركات «السرفو» أن تكون بأقل قيمة لعزم القصور الذاتي حتى يكون المحرك سريع الاستجابة Fast Response فإن محرك «السرفو» التآثيري يكون قطره صغيراً وطوله في اتجاه محور الدوران كبيراً كما في الشكل رقم (١). وهذه الأبعاد هي أهم سمة تميز الشكل الخارجي لأي نوع من محركات «السرفو» عن محركات القوى التقليدية.

وإنقاص عزم القصور الذاتي أكثر. يتم إنقاص وزن الجزء الدائر بجعل موصلات العضو الدائر فقط هي التي تدور. حيث تشكل هذه الموصلات مجرى اسطوانة من الألومنيوم مفرغة ومثبتة مع عمود الدوران بواسطة شاصعة من الألومنيوم على شكل قرص في جهة واحدة. وبذلك يصبح الجزء الدائر مثل الكوب الألومنيوم المثبت في عمود الدوران من منتصف قاعدته. ويسمى بالعضو الدائر المفرغ Hal-low Rotor

وكما كان في محركات التيار

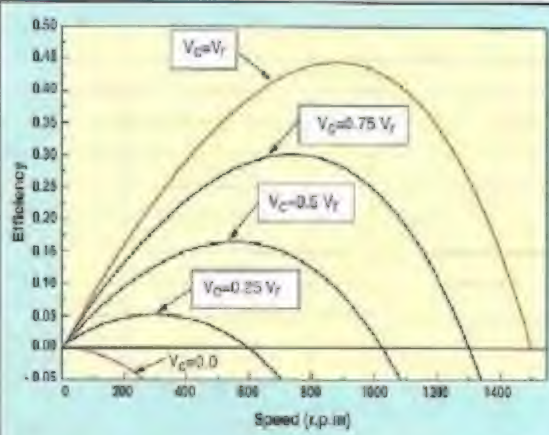


شكل رقم (٣): تيار كل من محرك «السرفو» ومحرك القوى عند تغذية ملف واحد



شكل رقم (٢): عزوم كل من محرك «السرفو» ومحرك القوى عند تغذية ملف واحد

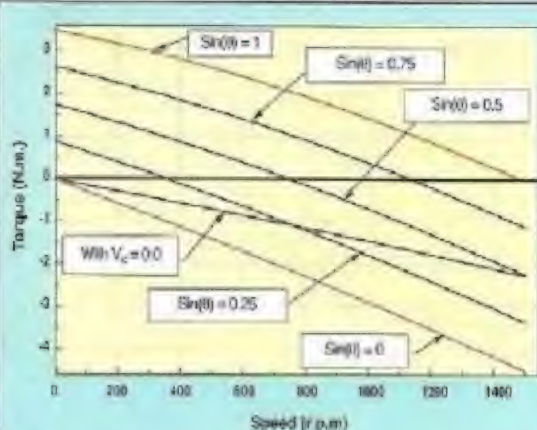




شكل رقم (٨): تغير كفاءة المحرك مع تغير السرعة عند جهود تحكم مختلفة

هذه الطريقة .. أي تساوي ميلو المنحنيات  $dt/dn$  مما يحسن من أداء منظومة التحكم في هذه الطريقة بأفضل من الطريقة السابقة. ويوضح الشكل رقم (٩) خواص الحرك عند قيم مختلفة للزاوية  $\theta$ . وبالنظر إلى الجزء الموجب من منحنيات العزم بهذه الطريقة.. نجد أن عزم محرك «السرفو» التائيري تتعامل مع عزم محرك التيار المستمر «السرفو» بمنظومة التحكم في جهد عضو الاستثناء.. وهي خواص خطية ثابتة الميول كما يجب أن تكون مع محركات «السرفو».

وقد أدى التحسن بهذه الطريقة للتحكم إلى العلاقات الخطية لتغير السرعة مع تغير معامل التحكم في هذه الطريقة وهو  $\sin(\theta)$  لأن عزم المحرك يتناسب مع  $\sin(\theta)$  وليس مع  $\theta$ .. وتغير السرعة مع هذا المعامل كما في الشكل رقم (١٠) وفيه نجد أن  $dn/d\sin(\theta) = \text{Constant}$ .. وعند المعدل ثابتاً لكل الحالات كما بالشكل



شكل رقم (٩): تغير عزم المحرك مع تغير السرعة عند زوايا تحكم مختلفة

«السرفو».. ومقارنة هذه الكفاءة مع حالة محركات التيار المستمر «السرفو» - العدد ٦٩ - نجد أن كفاءة محرك التيار المستمر «السرفو» أعلى من كفاءة المحرك التائيري «السرفو».

## ٢- التحكم في زاوية جهد ملف التحكم Phase Control:

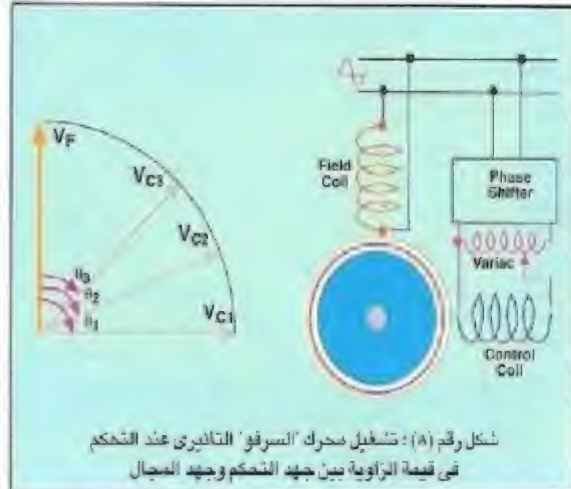
في هذه الطريقة.. يتم تثبيت قيمة جهد ملف التحكم  $V_c$  بدلاً من تغييره كما في الطريقة السابقة.. وللتحكم في المحرك.. يتم تغيير الزاوية الزمنية  $\theta$  بين جهد التحكم  $V_c$  وجهد المجال  $V_f$  بدلاً من تثبيتها عند  $90^\circ$  في الطريقة السابقة.. ويتم تغيير  $\theta$  من الصفر حتى  $90^\circ$ .

وتحتاج في هذه الحالة إلى وحدة الإزاحة Phase Shifter مع ملف التحكم بحيث تكون قابلة لتغيير  $\theta$  من صفر إلى  $90^\circ$ .. بينما كانت هذه الوحدة في الطريقة السابقة تثبت  $\theta$  عند  $90^\circ$ .. ويتم الاستغناء عن مفير الجهد Variac الذي كان يستخدم في الطريقة السابقة.. ويبقى ملف المجال متصلاً مباشرة وباستقرار مع المنبع كما كان في الطريقة السابقة - شكل رقم (٨). وعندما تكون الزاوية  $\theta$  تساوي  $90^\circ$ .. أي أن  $\sin(\theta) = 1$ .. فيلزم أداء الحرك يمثل تماماً أداء الحرك بطريقة التحكم السابقة عند جهد التحكم  $V_c = V_r$  ونحصل على منحني لعزم الحرك مع السرعة - شكل رقم (٩) - مماثل تماماً للطريقة السابقة - شكل رقم (٥) - حيث ينشأ مجال مغناطيسي دائري منتظم Circular Rotating Field.. ولكن.. عندما تكون الزاوية  $\theta$  مساوية للصفر.. فإن المجال المغناطيسي يصبح Pulsating Field في محور بين الملفين.. وتكون قيمة خطوط المجال بالمجموع الجبري لمجال

## منظومة التحكم

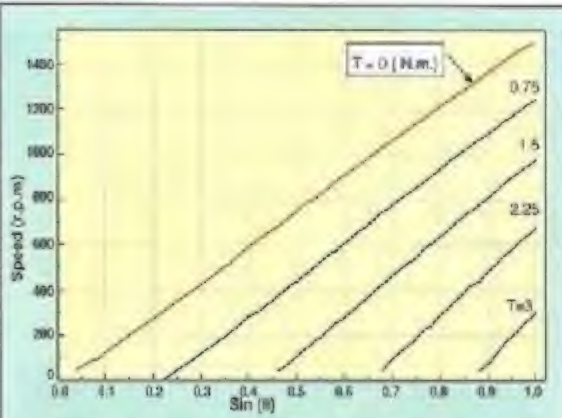
ومن الخواص الهامة في محركات «السرفو» قيمة معدل تغير السرعة  $dn/dV_c$  لنسبة الجهد التحكم  $dn/dV_c$  وكلما كان هذا المعدل ثابتاً عند كل عزم وب نفس القيمة مع تغير العزم على المحرك.. أدى ذلك إلى تحسين أداء منظومة التحكم وتبسيطها ونقص نسبة الخطأ في الوصول إلى السرعة المطلوبة.. ويتضح ذلك من الخصائص المبينة في الشكل رقم (٦)..  
حيث كلما كان تغير السرعة مع تغير جهد التحكم خطياً كان معدل التغير  $dn/dV_c$  ثابتاً.. وكلما كانت المنحنيات عند العزم المختلفة متوازية بقي معدل التغير  $dn/dV_c$  واحداً لجميع العزم.. ويلاحظ أن خواص محرك «السرفو» التائيري بمنظومة التحكم في قيمة الجهد  $V_c$  يؤدي إلى خواص قريبة من الخطية ومن الثابت مع تغير العزم خصوصاً عندما يكون الحرك محملاً وليس بدون حمل.

تتغير كفاءة المحرك مع تغير السرعة عند جهود التحكم المختلفة كما بالشكل رقم (٧)..  
حيث تزداد مع زيادة جهد التحكم لزيادة العزم وبالتالي قدرة الفرج.. ويلاحظ أن كفاءة محرك «السرفو» التائيري تكون منخفضة لأن المحرك يعمل عند انزلاق Slip كبير كما أن مقاومة العضو الدائر كبيرة.. ولكن يتم التخميد بانخفاض الكفاءة للحصول على محرك يعمل مستقراً خلال كل الذي لتغير السرعة من الصفر وحتى سرعة التزامن وكذلك لسهولة الاستجابة والخطية في الخواص. وكلها خواص لازمة لمحركات



شكل رقم (١٠): تشغيل محرك «السرفو» التائيري عند التحكم في قيمة الزاوية بين جهد التحكم وجهد المجال





شكل رقم (١٠): تغير سرعة المحرك مع تغير جيب الزاوية بين جهد التحكم وجهد المجال عند عزوم مختلفة

كما نود أن نشير، إلى أن تشغيل «تشفير السرعة» Servo Drive أصبح يستخدم كثيراً في هذه الأيام مع محركات القوى، ولا يعني ذلك أن محرك القوى أصبح يصل كمحرك «سريع»، ولكن هذا التعبير يطلق عندما تصبح وسيلة التحكم في محرك القوى سريعة الاستجابة للتغيرات التي تطرأ على المحرك وبالتالي تجعل المحرك سريع الاستجابة لتغير السرعة عندما يطلب ذلك، وبسرعة الاستجابة لتثبيت السرعة عند القيمة المطلوبة إذا حدث أي تغير مفاجئ في عزم الحمل بالزيادة أو النقصان.

وقد أصبحت سرعة الاستجابة هذه سهلة المثال بعد التطور السريع في سرعة أداء الصناعات وتعدليها بالصناعات الإلكترونية الحديثة وباستخدام أنواع خاصة من الترانزستور سريع الاستجابة للتوصيل والفصل.

في العدد القادم،

مولودات التاكوي،

المقاومة المكافئة للملئين  $R_{FW}$ ،  $R_{CW}$  والممانعة المكافئة للملئين  $X_{FW}$ ،  $X_{CW}$  مما يسبب نقص الزاوية بين التيارين  $I_C$ ،  $I_F$  عن  $90^\circ$ . ولهذا يصبح التحكم بهذه الطريقة تحكماً في قيمة جهد التحكم مؤدياً إلى تغير الزاوية بين تيارين الملئين وبالتالي الزاوية بين جهدي الملئين  $V_C$ ،  $V_F$ .

ولهذا، فإن خواص الأداء للمحرك بهذه الطريقة للتحكم يجمع بين خواص الأداء بالطريقة الأولى وخواص الأداء بالطريقة الثانية.

وبعد، فقد قدمنا أهم نوعين من محركات «السرعة»، وهما محركات «السرعة» ذات التيار المستمر ومحركات «السرعة» القاطيرية، وتستخدم على نطاق شيق أنواع أخرى من محركات «السرعة» مثل محركات الممانعة المغناطيسية ومحركات التعويق المغناطيسي والمحركات الخطوية.. وهذه سوف نتناولها بمشقة الله في أعداد قادمة تحت عنوان «المحركات الخاصة».

بقية مساوية للطريقة الأولى عند  $V_C = V_F$  ومساوية للطريقة الثانية عند  $\theta = 90^\circ$ .. حيث تكون عزوم المحرك بأكثر قيم موجبة.. وتتساوى هذه العزوم للطرق الثلاث للتحكم.

يظهر تأثير التكثف من رسم التجهيزات المبين في الشكل رقم (١٢) بأخذ اتجاه تيار المجال  $I_F$  في الاتجاه الأفقي.. ويكون في اتجاه قيمة الجهد  $I_F R_{FW}$  حيث  $I_F R_{FW}$  هي المقاومة الكلية المكافئة لملف المجال ويجمع قيمة الجهد  $I_F X_{FW}$ .. حيث  $X_{FW}$  هي الممانعة الكلية المكافئة لملف المجال.. نحصل على جهد ملف المجال  $V_F$  ويجمع جهد المكثف  $I_F X_C$ .. حيث  $X_C$  هي سمانعة المكثف.. نحصل على جهد الملين  $V$  والذي هو نصف الجهد الملين  $V_F$  لملف التحكم.

ويلاحظ، أن قيمة  $V_C$  سوف تتساوى مع قيمة جهد الملين  $V$  رغم أن  $V_F = V - I_F X_C$  لأن الطرح اتجاهي وليس جبرياً.. ويحدث هذا التساوي عندما تكون الزاوية بين  $V_F$  والجهد  $I_F R_{FW}$  يساوي  $45^\circ$  والزاوية بين  $V_F$  والجهد  $V$  بمقدار  $45^\circ$ .. وفي هذه الحالة.. ونظراً لتساوي جهدي الملئين  $V_C$ ،  $V_F$  ونسائل تكوين الملئين.. فإننا نحصل على المجال الدائري للملئين تماماً للمجال الدائري الناتج من الطريقة الثانية للتحكم عند  $\theta = 90^\circ$ ، ويكون تيار ملف التحكم  $I_C$  مساوياً لتيار ملف المجال  $I_F$  وبينهما زاوية  $45^\circ$  لتساوي المقاومة المكافئة والممانعة المكافئة للملئين حيث يكون المجال الكلي دائرياً متقارباً.

وللتحكم في سرعة المحرك.. يتم إنقاص السرعة بإنقاص الجهد  $V_C$  عن قيمة الجهد  $V$  باستخدام مغير الجهد فيتغير كل من التيار  $I_F$  والتيار  $I_C$  تبعاً لقيمة عزم الحمل.. ولكن تغير السرعة يؤدي إلى تفسير كل من

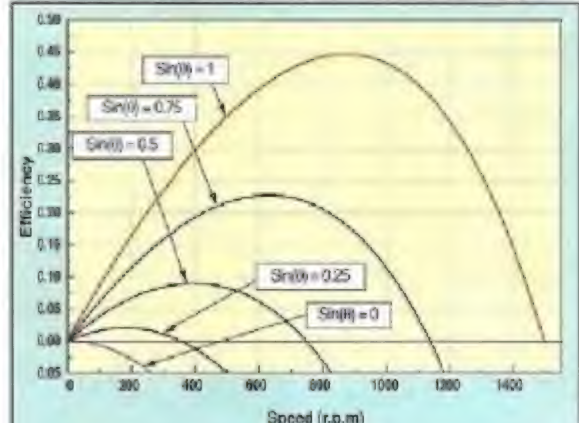
وهو ما يمثل أداة جسيماً لمحرك «السرعة» بهذه المنظومة للتحكم مقارنة بالمنظومة السابق كما يتبين من مقارنة الشكلين (٦)، (١٠).

وتفسير كفاءة المحرك بمنظومة التحكم في زاوية جهد ملف التحكم كما بالشكل رقم (١١) حيث ينطبق متحنى الكفاءة عند  $\sin(\theta) = 1$  مع متحنى الكفاءة عند  $V_C = V_F$  لتماثل العاليتين.. بينما تنخفض الكفاءة عند  $\sin(\theta) = 0.5$  عن الكفاءة عند  $V_C = 0.5V_F$  وذلك لأن قدرة دخل ملف التحكم تبقى ثابتة تقريباً بتغير الزاوية  $\theta$  من  $0^\circ$  إلى أية قيمة حتى الصفر بسبب ثبات قيمة جهد ملف التحكم.. أما بمنظومة التحكم في قيمة جهد التحكم.. فإن قدرة دخل ملف التحكم تنقص بنقصان جهد التحكم مما يؤدي إلى تحسين كفاءة المحرك مع منظومة التحكم في قيمة جهد التحكم عن منظومة التحكم في زاوية جهد التحكم.

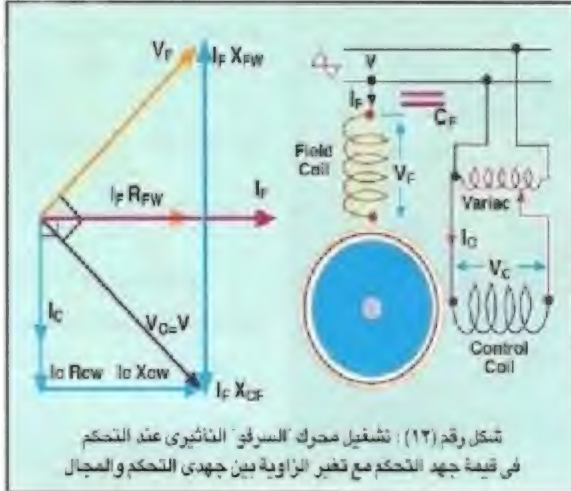
### ٣- التحكم في قيمة الجهد مع تغير الزاوية و Phase Control:

تتميز هذه الطريقة ببساطة التكوين حيث تم الاستغناء عن وحدة الإزاحة Phase Shifter واستخدام مكثف بالتوالي مع ملف المجال يتولى إيجاد الزاوية الزمنية بين جهد المجال وجهد التحكم.. ويستخدم منظم جهد Variac مع ملف التحكم كما بالشكل رقم (١٢).

وباستخدام قيمة مناسبة لسعة المكثف.. يمكن الحصول على زاوية زمنية  $45^\circ$  بين مجال ملف التحكم وملف المجال.. وكذلك الحصول على جهد ملف المجال  $V_F$  مساو لقيمة الجهد الملين لملف التحكم  $V_C = V_F$  حتى نحصل على مجال دائري متناظم Circular Rotating Field



شكل رقم (١١): تغير كفاءة المحرك مع تغير السرعة عند زوايا مختلفة



شكل رقم (١٢): تشغيل محرك «السرعة» الدائري عند التحكم في قيمة جهد التحكم مع تغير الزاوية بين جهدي التحكم والمجال



# مولدات «التاكو» Tachogenerators

د. فتحي عبد القادر

رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شيبين الكوم

التيار المستمر تتناسب مع سرعة الدوران  $N$  ومجال الاقطاب  $\Phi$ . أي أن  $E \propto N\Phi$ . وحيث أن مجال الاقطاب  $\Phi$  ثابت لأن الاقطاب مغناطيس دائم فإن  $E \propto N$ . أي أن القوة الدافعة الكهربائية المستنتجة بالمولد تتناسب خطياً مع السرعة. وهذا شرط أساسي يجب أن يتحقق في مولدات «التاكو».

أما المشاكل التي تظهر في هذا النوع من المولدات، فتمثل في:

١- ظهور تذبذبات Ripples في جهود الخرج تكون قيمتها واضحة في السرعات البطيئة كما في الشكل رقم (٤) الذي يبين تغير قيمة جهد الخرج مع الزمن عند سرعة دوران ١٥٠ لفة/دقيقة.. حيث يكون الجهد عبارة عن جزء تيار مستمر القيمة حتملاً بجزء آخر تيار مستمر متغير القيمة، وهذا التذبذب ناتج من عمليات التوحيد التي يقوم بها عضو التوحيد Commutator لجهود ملفات عضو الاستنتاج.. حيث تكون جهود هذه الملفات بشكل متردد AC، ولانخفاض قيمة هذه التذبذبات، يجب زيادة عدد ملفات عضو الاستنتاج وبالتالي عدد قطع عضو التوحيد وكذلك.. يجب عمل ميل Skewing في ملفات عضو الاستنتاج بدلاً من أن تكون موازية لمحور الدوران، كما أن زيادة طول الشفرة الهوائية في الدائرة المغناطيسية بين الأجزاء الدوارة والأجزاء الثابتة يؤدي إلى إنقاص هذه التذبذبات.

وعم زيادة سرعة دوران المولد.. تتضاءل قيمة هذه التذبذبات بالنسبة

بالشكل رقم (٢)، حيث تثبت جميع ملفات عضو الاستنتاج على السطح الخارجي لاسطوانة مفرغة من الألومنيوم على شكل كوب مثبت مع محور الدوران وتتصل أطراف الملفات بعضو التوحيد Commutator المثبت مع محور الدوران، وبذلك تدور ملفات عضو الاستنتاج وعضو التوحيد فقط. ويبقى الجزء الحديدي الموجود داخل أسطوانة ملفات عضو الاستنتاج ثابتاً دون دوران لإنقاص قيمة عزم القصور الذاتي للمولد وهذا الجزء الحديدي لازم لاستكمال الدائرة المغناطيسية لمجال الاقطاب.. كما أن المولد يكون قطره صغيراً وطوله كبيراً في اتجاه محور الدوران وذلك أيضاً لإنقاص عزم القصور الذاتي.

وهناك شكل آخر لمولد التاكو المستمر «التاكو».. حيث يكون عضو الاستنتاج على شكل قرص من الفجر، تلمص عليه لفات عضو الاستنتاج والتي تشمل بعضو التوحيد المثبت على نفس القرص.. وبذلك يكون الجزء الدائر هو القرص فقط بما عليه من موصلات عضوي الاستنتاج والتوحيد. وهكذا، يصبح وزن العضو الدائر وبالتالي عزم القصور الذاتي أقل مما يمكن. أما الاقطاب.. فتتكون من المغناطيس الدائم التي تشكل هي الأخرى على شكل قرص في كل من جهتي قرص عضو الاستنتاج كما بالقطاع المبين بالشكل رقم (٣).

ونلاحظ، أن القوة الدافعة الكهربائية  $E$  المستنتجة في مولدات

الإمكان حتى ينقص زمن الفترات الانتقالية Transient Periods مما يضمن من أداء منظومة التحكم.

٤- أن تكون العلاقة بين سرعة الدوران وجهد خرج المولد علاقة خطية.

٥- أن تكون نسبة الخطأ في قيمة جهد خرج مولد «التاكو» - عن العلاقة الخطية - أقل ما يمكن Mini-mum Amplitude Error.

٦- أن تكون نسبة الخطأ في زاوية جهد خرج المولد أقل ما يمكن Mini-mum Phase Error وذلك في مولدات «التاكو» التي تعطي جهداً متولداً.

وسوف نرى فيما بعد.. كيف تتحقق هذه الشروط في الأنواع المختلفة لمولدات «التاكو».

٢- مولد «التاكو» ذو التيار المستمر DC Tachogenerator

يتركب المولد من نفس أجزاء مولد التيار المستمر التقليدي.. إلا أن أقطابه لا يتم تغذيتها من مصدر خارجي أو من نفس المولد.. ولكن النوع الأكثر شيوعاً تكون أقطابه من النوع ذي المغناطيس الدائم Permanent Magnet net وذلك لتبسيط مكوناته.. وهذه الاقطاب تكون في العضو الثابت للمولد Stator.

أما العضو الدائر Rotor فهو يمثل عضو الاستنتاج Armature الذي نأخذ منه جهد خرج المولد. ولكي ينقص عزم القصور الذاتي للمولد.. فإن عضو الاستنتاج يكون من النوع المفرغ Hollow Rotor كما

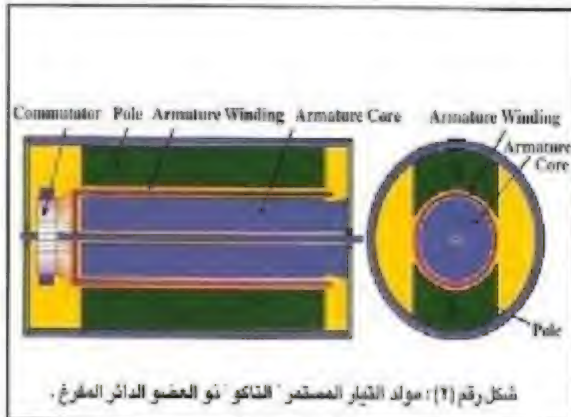
سابق الحديث عن منظومات مختلفة للتحكم في المحركات الكهربائية.. مثل التحكم في السرعة أو خلال فترة بدء الدوران أو خلال فترة التوقف. وفي منظومات التحكم هذه.. تكون هناك حاجة لقياس سرعة دوران المحرك والحصول من وسيلة القياس على جهد كهربائي يتناسب مع السرعة. وهذا الجهد، إما أن يوصل بجهاز قياس السرعة Tachometer لمعرفة قيمة السرعة.. أو يدخل في دائرة التغذية الخلفية Feedback في منظومة التحكم لتتم مقارنته بجهد أساسي مكافئ للسرعة المرجعية Speed Reference كما بالشكل رقم (١).

ومذه الوسيلة التي تعطي جهداً يتناسب مع السرعة الفعلية للمحرك هي مولد «التاكو» Tachogenerator الذي يمثل مكوناً رئيسياً من مكونات منظومة التحكم. وهو يختلف كثيراً عن المولد الكهربائي التقليدي Power Generator الذي يجب أن تتحقق فيه الشروط التالية لكي يعمل كمولد «تاكو».

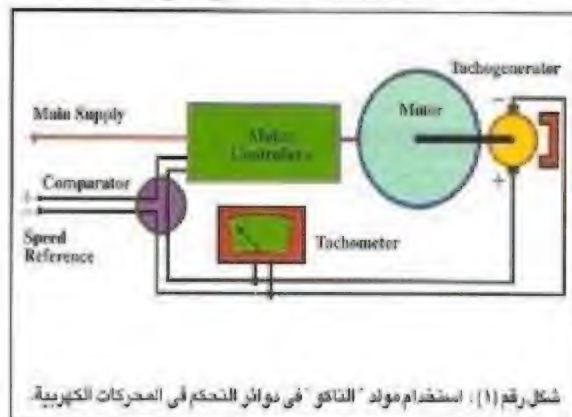
١- أن لا يمثل عا تصميل ميكانيكي على الأجزاء الدوارة المطلوب التحكم فيها.. أي لا يستهلك قدرة ميكانيكية من المنظومة بقدر الإمكان.

٢- أن يكون عزم القصور الذاتي للمولد صغيراً جداً حتى لا يؤثر على الأداء الديناميكي لمنظومة التحكم بزيادة فترة التأرجح للوصول إلى حالة الاستقرار.

٣- أن يكون ثابت الزمن الكهربائي Time Constant  $L/R$  صغيراً بقدر

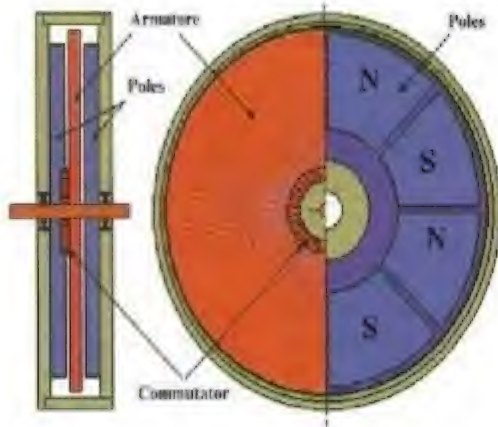


شكل رقم (٢): مولد التيار المستمر «التاكو» ذو العضو الدائر المفرغ.



شكل رقم (١): استخدام مولد «التاكو» في دوائر التحكم في المحركات الكهربائية.





شكل رقم (٣): مولد التيار المستمر - التاكور من النوع الفرسي.

الدوران - تكمن أهميتها في استكمال مسار المجال المغناطيسي حتى يسكن الحافظة على قيمة خطوط المجال بأكثر عدد ممكن، وتثبت هذه الاسطوانة الحديدية في أحد جوانب المولد لكي تكون ثابتة دون دوران حتى ينقص عزم القصور الذاتي للمولد.

وعند تذبذبة ملف المجال من منبع متردد (50/60 هرتز)، فإن ملف المجال ينتش خطوط مجال مغناطيسي ثور في اتجاه معبر ملف المجال وتتكامل مسارها في العضو الدائر الجزء الدائر في المولد. وهذا المجال المغناطيسي يكون متغيراً في عدد خطوطه من لحظة إلى أخرى.. كما أن اتجاهه يعكس لأن مصدره تيار متردد وهو ما يسمى بالمجال

المولد مع جهد السرعة القياسي Speed Reference في منظومات التحكم.

ويتكون مولد «التاكور» التآثيري من عضو ثابت به ملفين متعامدين في الفراغ. أحدهما يغذي من منبع تيار متردد ويسمى ملف المجال Field Winding (F)، والآخر يمثل الفرع Output Winding (O) الذي تنتج به القوة الدافعة الكهربائية التي تتناسب مع سرعة الدوران.

أما العضو الدائر المولد، فهو يمثل العضو الدائر لحرك «السرف» التآثيري.. حيث يكون الجزء الدائر مجرد اسطوانة مسفرة من الألمنيوم لها قاعدة تثبت مع محور الدوران كما بالشكل رقم (٨)، ويوجد بداخل هذه الاسطوانة أسطوانة أخرى من الحديد المصمت - بها ثقب في المنتصف يكفي لحور

لهذا المولد يصل منه مرتفعاً وتتركز أهم مزايا هذا المولد في العلاقة الخطية للجهد مع السرعة. وعدم وجود خطأ في زاوية الجهد.

وعلى الرغم من الاسترخام الأساسي لمولدات «التاكور» في قياس سرعة الدوران.. إلا أنها تستخدم أيضاً في قياس العجلة - Acceleration وذلك بتوصيل مقاومة ومكثف بالتوالي على أطراف خرج المولد.. وتوصيل جهاز قياس العجلة - Accelerometer على طرفي المقاومة كما بالشكل رقم (٧). فإذا كانت سرعة الدوران ثابتة.. فإن جهد المولد يكون ثابت القيمة ولا يمر تيار في المقاومة R. وبالتالي يكون جهد الخرج على أطراف المقاومة صفراً بما يعني أن العجلة تساوي «صفر».. ويكون المكثف مشحوناً بجهد يساوي جهد المولد. وعند تزايد السرعة.. يكون العجلة قيمة تزايدية تظهر على أطراف الخرج على المقاومة مرور تيار شحن المكثف، وكلما كان معدل زيادة السرعة كبيرة.. كان تيار الشحن أكبر وقيمة العجلة أكبر، ومع تناقص السرعة.. ينعكس اتجاه التيار حيث يفرغ المكثف شحنته وتتوقف قيمة التيار على معدل التناقص حيث تظهر قيمة العجلة التناقصية على جهاز قياس العجلة.

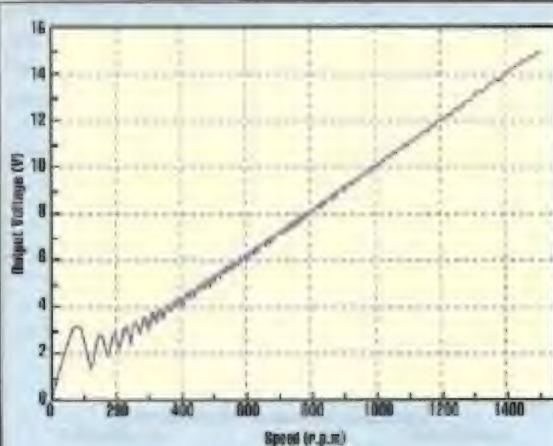
### ب- مولد «التاكور» التآثيري Induction Tachogenerator

يعطي هذا المولد جهداً يتناسب مع سرعة الدوران، ولكنه جهد متردد AC. والمهم في هذا الجهد المتردد.. أن تردده ثابت مهما تغيرت السرعة.. وهذه خاصية فريدة لا يفرها أي مولد تيار متردد تقليدي وهذه الخاصية لا بد من وجودها في مولد «التاكور» حتى يمكن مقارنة جهد

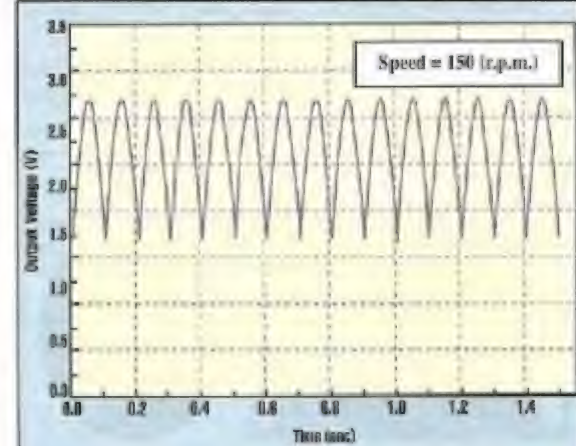
للجهد الرئيسي ثابت القيمة ويتحسن شكل الجهد كما بالشكل رقم (٩). ويؤدي ظهور هذه التذبذبات إلى مشاكل شظورة التحكم حيث تتغير قيمة جهد خرج مولد «التاكور» من لحظة إلى أخرى ورغم ثبات السرعة.. فيصعب تجديد قيمة السرعة الفعلية.

٢- اختلاف جهد خرج المولد مع ثبات السرعة (معتى وإن كانت السرعة عالية) باختلاف قيمة التيار للأخسور من المولد والمار بدائرة التحكم. وهذا الاختلاف هو ما يعبر عن الخطأ في قيمة الجهد - Ampli tude Error وهو الناتج من عيوب الجهد في مقاومة عضو الاستنتاج. فإذا كان جهد الخرج عند الأحمال Vn، فإنه بتوصيل المولد إلى الحمل الذي هو دائرة التحكم.. فإن جهد الخرج ينخفض بحيث يصل إلى Vn حيث أن  $V_n = V_m - I_n R$  وهو التيار هو ا ومقاومة عضو الاستنتاج هي R، ولتفحص هذا الخطأ، يجب أن تأخذ دائرة التحكم تياراً بأقل قيمة ممكنة. وهو ما يتحقق مع أجهزة القياس والتحكم الإلكترونية الحديثة. ويوضح الشكل رقم (٦) الاختلاف في قيمة جهد الخرج مع تغير السرعة عند قيم مختلفة للمقاومة دائرة الحمل على مولد «التاكور» حيث ينخفض الجهد كلما قلصت مقاومة الحمل التي تعني زيادة التيار.

ويمكن حصر العيوب الرئيسية لمولد التيار المستمر «التاكور» في وجود التذبذبات في جهد الخرج، وكذلك وجود الخطأ في قيمة الجهد.. إلى جانب المشاكل الناتجة عن عضو الترخيد مثل الحاجة للصيانة باستمرار.. كما أن التركيب المعقد

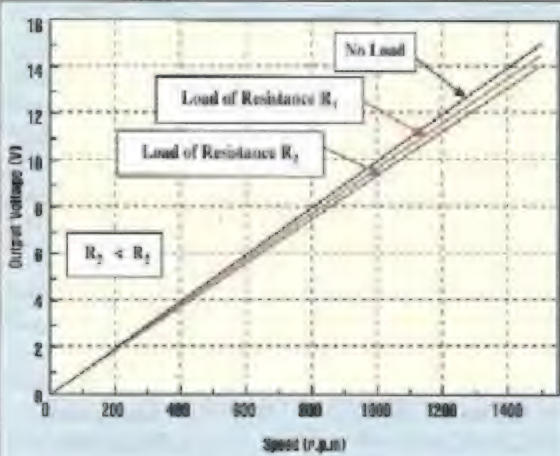


شكل رقم (٩): ظهور تذبذبات جهد الخرج بنسبة أكبر في السرعات المنخفضة.



شكل رقم (٦): تذبذبات الجهد في السرعات المنخفضة.





شكل رقم (٦): تغير جهد الخرج مع تغير السرعة عند مقاومات حمل مختلفة.

$V_o$ . فإن ذلك يؤدي إلى وجود قيمة خطأ للجهد  $V_o$ . فإذا كان  $V_o$  يساوي  $V_r$  في القيمة. ويجب أن يكون  $V_o$  مساوياً للصفر. إلا أن وجود خطأ في زاوية موجة الجهد  $V_o$  تعني تحرك الموجة زاوية تؤدي إلى تواجد قيمة خطأ للجهد  $V_o$  تعني تحرك الموجة زاوية تؤدي إلى تواجد قيمة خطأ للجهد  $V_o$  وهو ما يسمى بالخطأ الناتج من الزاوية Phase Error. وهذا الخطأ ينتج من اختلاف الاتصال من مقاومة مادية إلى ممانعة حثية أو سعوية.

وبرغم هذين الخطأين في مولد «التاكوك» التآثري. وحديث يمكن التغلب عليهما وإتقاصهما إلى أقل قيمة ممكنة. فإن هذا المولد يتميز كثيراً على مولد التيار المستمر «التاكوك» حيث لا يوجد به عضو توحيد ولا تظهر مشاكله ولا يوجد به أي حلقات انزلاق أو فرش بما لها من مشاكل. كما أنه أقل تكلفة وبالتالي أقل سعراً وأطول عمراً.

هذا. ويمكن استخدام مولد «التاكوك» التآثري في قياس العجلة Accelerometer. وعندئذ يتم تغذية ملف المجال من مصدر تيار مستمر

جهد الخرج Phase Error. ويتضح ذلك من الشكل رقم (١١) الذي يبين تغذية مجال مولد «التاكوك» التآثري وتوصيل جهد الخرج  $V_o$  مع جهد السرعة القياسي  $V_r$ . حيث يتم طرحهما ليكون الناتج هو جهد التحكم  $V_c$ . أي أن  $V_c = V_r - V_o$ . حيث يتم توصيل هذا الجهد  $V_c$  إلى منظومة التحكم الرئيسية للتحكم في سرعة محرك القوى. فإذا كان  $V_o$  أقل من  $V_r$ . فإن هذا يعني أن سرعة محرك القوى أقل من السرعة المحددة المطلوبة. وعندئذ يكون الجهد  $V_o$  موجباً ويعمل على زيادة سرعة المحرك إلى أن يتساوى  $V_o$  مع  $V_r$  وتبقى السرعة ثابتة على ذلك. وإذا حدث وزاد الحمل الميكانيكي على المحرك. فإن سرعة المحرك تنخفض وبالتالي ينخفض الجهد  $V_o$  للمولد وتظهر قيمة للجهد  $V_c$  تعمل على إعادة السرعة إلى ما كانت عليه. أما عند الرغبة في زيادة السرعة أو إنقاصها. فإننا نزيد أو نقص الجهد  $V_r$  فتظهر قيمة للجهد  $V_c$  تعمل على زيادة أو إنقاص السرعة إلى القيمة المطلوبة. وإذا ظهر خطأ في زاوية جهد خرج مولد «التاكوك» التآثري

العضو الدائر. تستنتج بالتحويل  $E_{ro}$  في ملف العضو الدائر  $D$ . ولا يستنتج أي شيء في الملف  $Q$  لأنه متعامد على كل من مجال الملف  $D$  ومجال الملف  $F$ . أما عند الدوران. فإن  $E_{ro}$  تبقى موجودة كما هي في الملف  $D$ . وتظهر القوة الدافعة الكهربائية من الدوران  $E_{ro}$  في الملف  $Q$  بعد أن كانت «صفر» عند السكون. وتزداد  $E_{ro}$  خطياً مع زيادة سرعة الدوران. ولما كان محور الملف  $Q$  في اتجاه محور ملف الخرج  $O$ . فإن تيار ومجال الملف  $Q$  يتجانس قوة دافعة كهربية بالتحويل  $E_{ro}$  في ملف الخرج. وهكذا. يكون خرج المولد  $E_{ro}$  ناتجاً بالتحويل من جهد ناتج من الدوران  $E_{ro}$ . وهكذا. يكون خرج المولد متناسباً مع سرعة الدوران. ويلاحظ. أن جميع الجهود المستنتجة تكون جيئية Sinusoidal وثابتة التردد مثل جهد تغذية ملف المجال. مهما تغيرت سرعة الدوران.

وبزيادة سرعة الدوران. يزداد جهد خرج مولد «التاكوك» التآثري زيادة خطية كما بالشكل رقم (١٠). إلا أنه في السرعات العالية لا يبقى تيار ملف المجال ثابتاً رغم ثبات جهده. بل يتناقص بتأثير زيادة تيار ومجال الملف  $Q$ . مما يؤدي في النهاية إلى تناقص جهد الخرج عن القيمة الخطية كما بالشكل. وعند توصيل المولد. يتناقص جهد الخرج مرة أخرى بسبب هبوط الجهد في مقاومات وممانعات المولد. الأمر الذي يؤدي إلى الخطأ في قيم الجهد يكون صغيراً إذا كان حمل مولد «التاكوك» يكافئ حملاً سعوياً Capacitive Load. ويزداد الخطأ إذا كان الحمل يكافئ حملاً مائياً Resistive Load. ويزداد الخطأ أكثر إذا كان الحمل حثياً Inductive Load كما بالشكل.

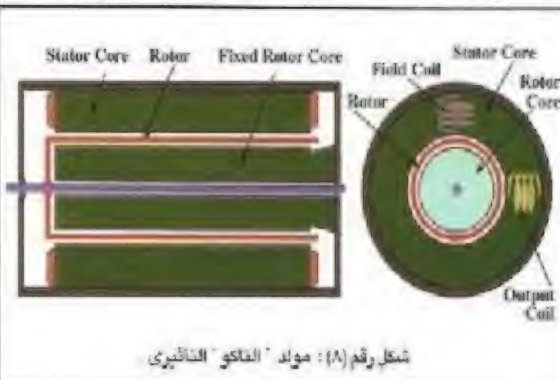
ويظهر في مولد «التاكوك» التآثري خطأ ثان. ألا وهو الخطأ في زاوية

المذبذب Pulsating Field. ونتيجة لهذا التغير والانعكاس. تستنتج قوة دافعة كهربية في الأسطوانة الألومنيوم حتى ولو كانت ساكنة بنس نظرية استنتاج القوة الدافعة الكهربائية الناتجة من التحويل Trans-former e.m.f. ( $E_i$ ) ويكون ترددها مساوياً لتردد تغذية ملف المجال ولا تتغير قيمتها بتغير سرعة الدوران مادام تيار ملف المجال ثابتاً.

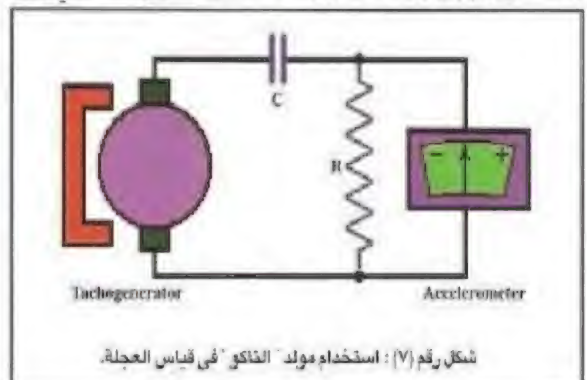
ونظراً لأن الأسطوانة الألومنيوم تشل لفات مقصورة على نفسها. فإن تياراً متقدداً يمر بالأسطوانة وينشأ عنه مجال مغناطيسي في نفس محور ملف المجال. ونظراً لأن ملف الخرج متعامد في الفراغ مع ملف المجال. فإنه عند سكون العضو الدائر لن تستنتج بملف الخرج أي قوة دافعة كهربية برغم وجود مجال مغناطيسي من ملف المجال ومن أسطوانة العضو الدائر. لأن هذين المجالين متعامدين على ملف الخرج.

وعند دوران العضو الدائر. تظل  $E_i$  في الأسطوانة الألومنيوم باقية. إلا أن قوة دافعة كهربية أخرى تستنتج بالأسطوانة من الدوران وتسمى Rotational e.m.f. ( $E_r$ ) وتتزايد قيمتها خطياً مع زيادة السرعة. وبرغم تغير قيمتها. فإن ترددها يبقى ثابتاً عند نفس قيمة تردد تغذية المجال. وتتميز  $E_r$  عن  $E_i$  بأن المجال للمغناطيسي الناتج عنها يكون مسوره عمودياً على محور ملف المجال. أي في اتجاه محور ملف الخرج.

وبطريقة أخرى. فإنه يمكن تشييل أسطوانة العضو الدائر بملفين ثابتين في الفراغ مهما تغيرت السرعة. كلاهما مقصور على نفسه. أحد هذين الملفين  $D$  يكون مسوره في اتجاه ملف المجال. والثاني  $Q$  يكون مسوره في اتجاه ملف الخرج كما بالشكل رقم (٩). وعند سكون

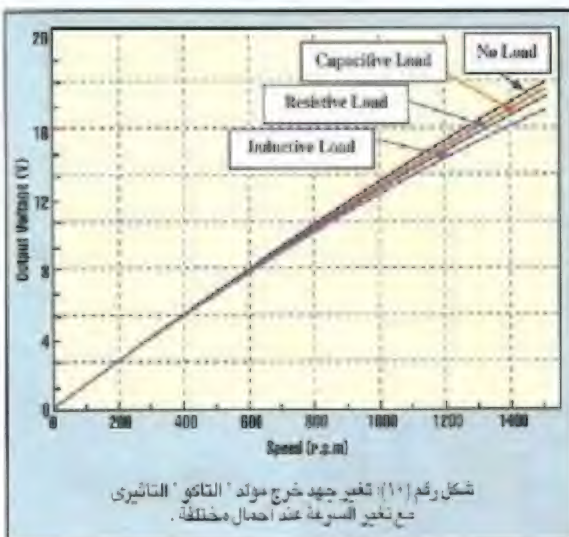


شكل رقم (٨): مولد «التاكوك» التآثري



شكل رقم (٧): استخدام مولد «التاكوك» في قياس العجلة.





الاقطاب من اختلاف كثافة المجال المغناطيسي حتى تكون بأكثر قيمة لها خلال كل ستة من أسنان العضو الدائر، كما تكون كثافة المجال باقل قيمة خلال كل مجرى من مجاري العضو الدائر، وبذلك، تشكل كل ستة قطبا ذا مجال كبير، وكل مجرى قطبا ذا مجال صغير. وعندما تتعرض ملفات الفرج لمجال مغناطيسي ذي كثافة عالية تم آخر ذي كثافة أقل، شنتنتج بها القوة الدافعة الكهربائية المطلوبة، وتكون بشكل تيار متردد يتم توحيد الحصول على جهد مستمر.

وهذا المولد، يكون جهده خطيا مع تغير السرعة، وتكون نسبة التذبذبات به أقل من الأنواع الأخرى بل وأقل من مولد التيار المستمر 'التاكور'، كما أن نسبة الخطأ في قيمة الجهد Amplitude Error أقل من الأنواع الأخرى.

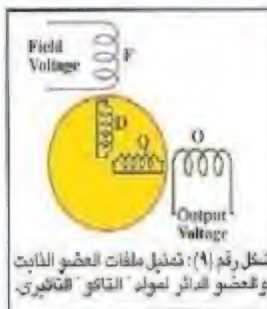
العدد القادم:

الحركات الخطية

الدوران ليست تشكيل مجاري Slots وأسنان Teeth... حيث يشكل مجموع عدد المجاري وعدد الأسنان عدد الاقطاب للمولد.

أما العضو الثابت، فتوضع به مجموعة ملفات الفرج بالطريقة التقليدية، مع الأخذ في الاعتبار أن الخطوة القطبية تساوي عرض السن أو المجرى للعضو الدائر حيث يتمساري عرض السن مع عرض المجرى، كما يوضع بالعضو الثابت ملفا تغذية الاقطاب ويتم لف كل ملف بحيث يكون محوره هو محور دوران المولد.

ويتم تغذية ملفي الاقطاب المثبتين بالعضو الثابت، بالتيار المستمر حيث ينشأ عنهما مجال مغناطيسي في اتجاه محور الدوران، ولكي يصل هذا المجال إلى ملفات الفرج في العضو الثابت، يجب أن يكن مجال ملف الاقطاب الأول مضادا لمجال ملف الاقطاب الثاني حتى ينتشر المجال خارجا من الجزء الأوسط بالعضو الدائر إلى ملفات الفرج بالعضو الثابت، وتنشأ



توحيد جهد الفرج لأي مولد 'تاكور'، تزامني إلى جهد تيار مستمر باستخدام بواشر التوحيد Rectifier-ers. إلا أن هذا المولد يقتضي عن المولد ذي التيار المستمر في عدم وجود عضو توحيد أو حلقات انزلاق أو فرش، وفي هذه الحالة يفضل أن تقسم ملفات العضو الثابت إلى عدد من الأوجه لا تقل عن ثلاثة وذلك لزيادة جهد وقوة الفرج وانقاص التذبذبات في جهد الفرج بعد التوحيد.

ولزيادة أكثر في جهد وقوة الفرج، وأيضا لإمكانية التحكم في جهد الفرج وانقاص التذبذبات بدرجة أكبر، يستخدم نوع خاص من المولدات التزامنية يسمى بالفرش الحثي Inductor Type، وأبرز ما في هذا النوع، أن عدد أقطابه كشجرة لانقاص التذبذبات، ورغم ذلك فإن ملفات هذه الأقطاب لا تتجاوز ملفا واحدا أو اثنين على الأكثر، ويمكن وضع ملفي الاقطاب في العضو الدائر، إلا أنه يفضل وضعهما في العضو الثابت حتى لا نحتاج إلى حلقات انزلاق أو فرش.

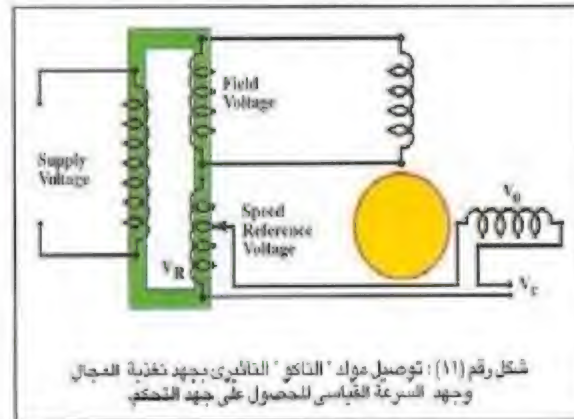
ويتكون العضو الدائر كما بالشكل رقم (١٢)، من أسطوانة من الحديد المصمت ويترك جزآن من أطراف الأسطوانة على شكل دائرة منتظمة، أما الجزء المتوسط من الأسطوانة فيتم به تقطيع مجاري موازية لمحور

بدلاً من التيار المتردد، وعند ثبات السرعة، يكون جهد خرج المولد صغيراً، مهما كانت هذه السرعة، لأن القوة الدافعة الكهربائية في العضو الدائر تكون ناتجة من الدوران فقط وينتج عنها مجال دائري منتظم Circular Rotating Field يدور في العضو الدائر في اتجاه مضاد لاتجاه الدوران، وهذا المجال يكون ثابتاً في الفراغ بالنسبة لأي ملف في العضو الثابت، وبالتالي لا ينشأ من مجال العضو الدائر أية قوة دافعة كهربائية في أي من ملفات العضو الثابت مثل ملف الفرج طالما كانت سرعة الدوران ثابتة.

إلا أنه بتغير سرعة الدوران، تتغير قيمة وسرعة المجال الدائري الناتج من العضو الدائر، لكن، يبقى مجال العضو الدائر ثابتاً في الفراغ بالنسبة لملف الفرج، إلا أن تغير قيمة المجال الدائري مع تغير السرعة ينتج عنه قوة دافعة كهربائية في ملف الفرج تزيد قيمتها مع زيادة معدل تغير السرعة، وبذلك يعبر جهد الفرج عن قيمة عجلة الدوران Acceleration.

### جـ - مولد 'التاكور' التزامني Synchronous Tachogenerator

هذا المولد، يمكن أن يكون العضو الدائر له عصابة من الاقطاب انضاطيسية الدائسة حتى لا تحتاج إلى تيار تغذية وبالتالي لا تحتاج إلى حلقات انزلاق أو فرش، ويوضع بالعضو الثابت مجموعة واحدة من الملفات لتصل ملف الفرج، إلا أن جهد الفرج وإن كانت قيمته سوف تتزايد خطياً مع السرعة، فإن تردده سوف يتزايد خطياً أيضاً مع السرعة، وهذا الجهد التغير التردد لا يمكن مقارنته مع جهد السرعة القياسي  $V_r$  لاختلاف التردد من سرعة إلى أخرى، لهذا، فإنه يتم

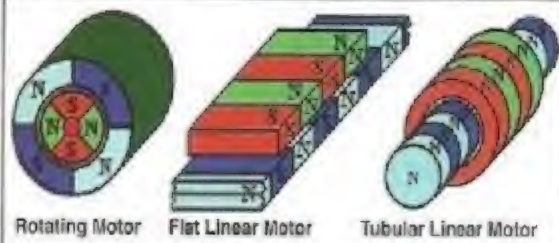




# المحركات الخطية Linear Motors

د. فتحي عبد القادر

رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شبن الكوم



شكل رقم (١): المحركات الدوارية والخطية المسطحة والأنبوبية

بالشكل رقم (٧)

كما أن اتجاه مسار خطوط المجال المغناطيسي يمكن أن يكون في اتجاه مستعرض بالنسبة لاتجاه الحركة أي Transverse Flux كما بالشكل رقم (٢)، أو يكون في الاتجاه الطولي لحركة المحرك Longitudinal Flux كما بالشكل رقم (٣) والذي يمكن أن توضع فيه حلقات الابتدائي بالنظام الحلقى للثلاث أوجه Gramme Ring أو بالنظام السطحي Surface. كما أن شرائح الصلب السليكوني يمكن أن تستبدل في أي نوع بسهولة Composite أكثر سهولة في التصنيع، وهذا التمدد الكثير في أنواع المحركات الخطية التآثيرية يمكن إيجادها في المخطوط الموضح بالشكل رقم (٤).

لماذا يستخدم المحرك الخطي التآثيري في القطارات الكهربائية؟

بالإضافة إلى أن استخدام أي محرك كهربائي في المركبات أو القطارات سوف يؤدي إلى عدم تلوث للبيئة بأي أدخنة كالكثي تنتج مع محركات الديزل. فإن المحرك الكهربائي الخطي يتميز على المحرك الكهربائي الدوار عند استخدامه في

يجب أن يكون أحدهما قصير وهو الذي يتحرك أمام الجزء الثاني الطويل الذي يكون ثابتاً. والجزء القصير يمكن أن يكون هو الجزء الابتدائي Primary الذي به الملفات ويكون الجزء الطويل هو الثانوي Secondary الذي به قفس الستجاب أو العكس. أي يكون الجزء القصير هو الثانوي والجزء الطويل هو الابتدائي. وعادة، إذا كان الجزء الطويل هو الثانوي فإن قفس الستجاب الألو منيوم - وفي هذه الحالة فإن الابتدائي يواجه الشريحة الألو منيوم وبإحدى جهتي حدهي لاستكمال مسار للمجال المغناطيسي للحفاظ عليه بأكبر عدد ممكن من الخطوط للمغناطيسية. وبذلك يكون الجزء القصير مزدوجاً في جهتي الشريحة الألو منيوم ويسمى Double Sided Magnetically. وإذا كانت ملفات الابتدائي في جهة واحدة يسمى Single Sided Electrically. لأنه يمكن تقسيم ملفات الابتدائي إلى نصفين بحيث يوضع نصف في جهة من الألو منيوم والنصف الثاني في الجهة الثانية ويسمى في هذه الحالة Double Sided Electrically - كما

على طول المسار. أما القطارات التي تعمل بالمحركات الخطية.. فإنها عادة زالت محدودة العدد في قليل من بلدان العالم مثل اليابان وألمانيا.

وبلاحظ.. أن جميع أنواع المحركات الكهربائية الدوارية مثل محركات التيار المستمر وجميع أنواع محركات التيار المتردد - يوجد لها نظير في المحركات الخطية - وجميع الأنواع الخطية، يمكن أن تكون بشكل مسطح أو أنبوبى كما بالشكل رقم (١).

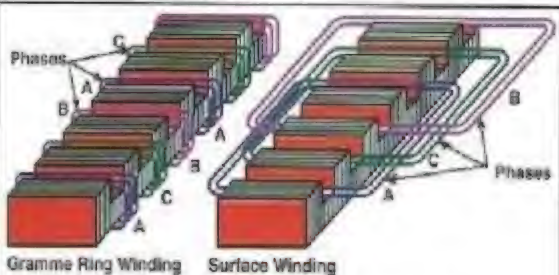
ولأن المحركات الخطية التآثيرية هي أكثر أنواع المحركات الخطية شيوعاً، فإننا سوف نتناولها بشيء من التفصيل..

## المحركات الخطية التآثيرية Linear Induction Motors

في النوع التآثيري الدوار من المحركات التآثيرية. لو تصورنا أننا قمنا بقطع كل من العضو الثابت والعضو الدائر وتم فردهما بحيث يصبحان بشكل مسطح بدلاً من الشكل الدائري. فإن هذا الشكل يكون هو المحرك الخطي التآثيري. أي أن جزئي المحرك يكون أحدهما من شرائح الصلب السليكوني بشكل مسطح به فتحات المجاري التي توضع بها الملفات النحاسية التي تغذي من التبع الكهربائي وتقلل جوء الابتدائي في المحرك - والجزء الثاني يشبه الجزء الأول إلا أن المجاري يوضع بكل منها موصل واحد ويتم عمل قصر على جميع هذه الموصلات من الجهتين بما ينظر العضو الدائر قفس الستجاب في المحركات الدوارية ونظراً لأن المحرك يجب أن يتحرك مسافة طويلة.. فإن جزئي المحرك

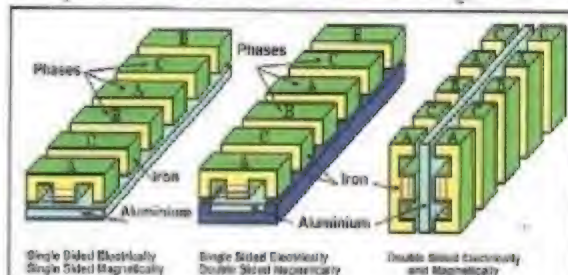
يتكون أي محرك كهربائي من جزئين. جزء ثابت وآخر متحرك.. والجزء المتحرك في معظم المحركات الكهربائية يتحرك حركة دورانية تناسب معظم الأحكام الميكانيكية.. وفي بعض المحركات (الخطية) يتحرك الجزء المتحرك حركة خطية أفقية أو رأسية أو مائلة لتناسب عدداً من الاستخدامات يكون معظمها داخل المصانع لنقل أجزاء المنتجات في مراحل التصنيع المختلفة أو نقل الخامات المتنوعة والتي يكون من الأفضل نقلها بهذه المحركات الخطية التي تكون على شكل سيور معدنية تختلف كثيراً عن السيور المطاطية التي تحركها محركات دوارية تقليدية.

والمحركات الخطية تتعدد من ناحية الشكل ونظرية العمل بحيث يصعب حصر جميع هذه الأنواع فمن ناحية طول المسار أو المسافة الكلية للحركة.. توجد أنواع يكون مشوارها محدوداً في بضعة سنتيمترات وهي ما تسمى بالمحركات الدافعة Actuators. وأنواع يحمل مشوارها إلى عدة أمتار - مثل غالبية المحركات الخطية وأنواع يصل مشوارها إلى عدة كيلومترات مثل القطارات. إلا أننا يجب أن نفرق بين قطارات السكك الحديدية التي تعمل بالمحركات الكهربائية الدوارية والتي تكون محطة محرك الديزل فيها تشغيل محرك كهربائي كبير يغذي المحرك الكهربائي الرئيسي الذي يشغل القطار وهو ما يحدث في قطارات السكك الحديدية حالياً. وقطارات المترو التي تديرها أيضاً محركات كهربائية دوارية يكون المصدر الكهربائي لها هو خط مستد



Longitudinal Flux Linear Induction Motor

شكل رقم (٣): المحركات الخطية ذات المجال المغناطيسي الطولي



Transverse Flux Linear Induction Motors

شكل رقم (٢): المحركات الخطية ذات المجال المغناطيسي المستعرض





تأثر بالضرر على المجالات الأساسية للمحرك.

فإذا تصورنا أن المحرك التآثيري الدوار يدور بسرعة التزامن.. فإن العضو الدافر لن تستنتج به قوة دافعة كهربية أو تيار أو مجال لأن سرعة دوران العضو الدافر هي نفس سرعة مجال الابتدائي ولا يقطع الثاني من مجال الابتدائي.. أما في المحرك الخطي قبله إذا تحرك بسرعة التزامن - التي تساوي سرعة تحرك المجال المغناطيسي للابتدائي - ويتبع جزء من شريط الألومنيوم عندما يدخل بالحرك فباته يقطع مجال الابتدائي فتستنتج به قوة دافعة كهربية وتيار ومجال مغناطيسي يفسد المجال المغناطيسي للابتدائي فيضعف المجال في منطقة الدخول كما بالشكل رقم (٨).

وبعد منطقة الدخول - أي منطقة

أيضاً يصنع من الموصلات فائقة التوصيل حتى تسمح بمرور تيار عال جداً كاف لإنتاج مجال مغناطيسي يقوي على رفع القطار.

#### المشاكل التي تظهر مع المحركات الخطية:

بتحويل المحركات الكهربية بجميع أنواعها من المحركات الدوارة إلى محركات خطية.. تظهر مشاكل لم تكن موجودة في المحركات الدوارة من أهمها:

#### ١- تأثيرات البداية والنهاية End Effects:

نتيجة لتغير الطول الابتدائي للحدود وعدم اكتمال الدائرة المغناطيسية كما كانت في المحركات الدوارة.. تستنتج تيارات ومجالات مغناطيسية في منطقتي الأمام والخلف للمحرك - نهاية الدخول Entry End ونهاية الخروج Exit End - وهذه المجالات

أما تحصيل القطار على خط السير فيتم بواسطة من الطرق الثلاث التالية:

أ- الطريقة الأولى: باستخداف عجلات مثل قطارات السكة الحديد التقليدية كما في الشكل رقم (٥).

ب- الطريقة الثانية: برفع القطار عن الأرض بواسطة قسوة التنافر المغناطيسي Repulsion Type الناتج من مجال ملف مثبت أسفل القطار كما بالشكل رقم (٦) ويقطع مجال هذا الملف شريحة من الألومنيوم مثبتة على الأرض بطول خط السير لينشأ بها قوة دافعة كهربية وتيار ومجال يحدث قوة تنافر مع مجال الملف ليرفع القطار إلى أعلى مسافة كافية للسير بسهولة. وقوة التنافر هذه.. يجب أن تكون كبيرة بالقدر اللازم لحمل القطار بالكامل بجميع أوزانه ووصلاته. ولهذا.. يجب أن يكون تيار الملف عالياً جداً.. مما يدعو إلى تصنيعه من موصلات فائقة التوصيل Superconductors يتم تبريدها إلى أقل من درجة الصفر (كلفن) لتصبح مقاومة الملف المادية (صفر) وبالتالي تكون القدرة المستهلكة بالملف (صفر).. وبذلك لا ترتفع درجة حرارة الملف من أي تيار كهربي يمر به مهما كانت قيمته. وفي الشكل رقم (٦) يستخدم ملفان من هذا النوع أسفل القطار جهتي اليمن واليسار لرفع القطار بالتزامن.

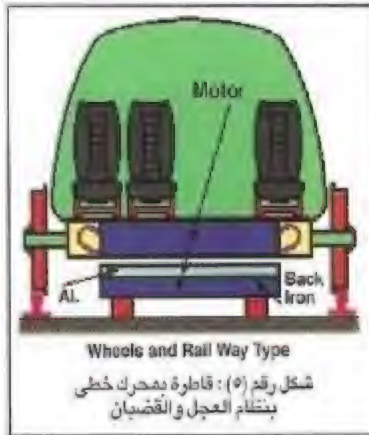
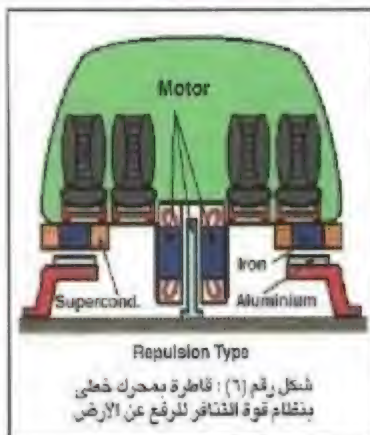
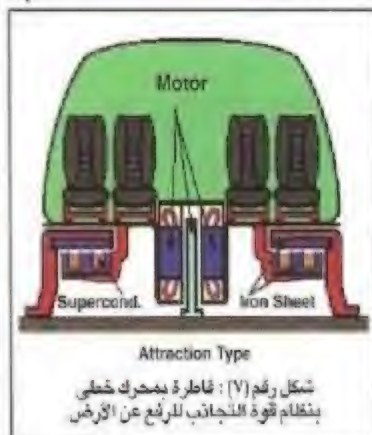
ج- الطريقة الثالثة: برفع القطار بواسطة قوة الجذب المغناطيسي Attraction Type لمجال ملف مثبت أسفل القطار يتجاذب مع شريحة من الحديد مثبتة على الأرض بطول خط السير كما بالشكل رقم (٧) حيث ينشأ ملف مجالاً مغناطيسياً قوياً يمر من خلال القلب الحديدي للملف ويستكمل مساره خلال شريحة الحديد.. فتنشأ قوة الجذب التي تؤدي إلى رفع القطار. والملف هنا

القطارات في إمكانية الوصول بسهولة إلى سرعة عالية جداً للقطار.

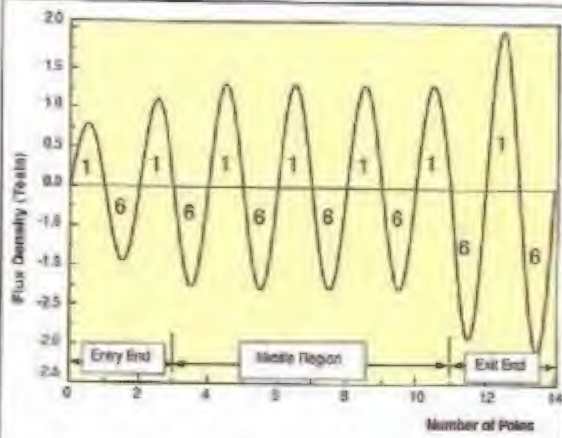
ولأن سرعة القطار تتخرب من سرعة الحركة التزامنية (Vs) للمجال المغناطيسي السيار travelling magnetic Field الناتج من أقطاب الجزء الابتدائي في المحرك - المناظر للمجال التآثيري في المحرك الدوار - وتكون السرعة التزامنية للمجال Vs=2f/tp .. حيث f هي تردد المنبع بالهرتز في الثانية - tp هي طول الخطوة القطبية بالتير للجزء الابتدائي من المحرك وعندما يكون تردد المنبع 50 Hz فإن Vs=100 tp (م/ث) أو Vs=360 tp (كم/س).. أي أن سرعة تحرك المجال عندما تكون طول الخطوة القطبية متر واحد سوف تصل إلى 360 كم/الساعة. وبمضاعفة طول الخطوة القطبية تتضاعف سرعة المجال وتكون سرعة القطار قريبة من سرعة المجال العالية جداً هذه.

#### طرق تحميل القطار على خط السير:

في القطار الذي يعمل بالمحرك الخطي التآثيري.. يكون الجزء الابتدائي من المحرك الذي يحوي ملفات الثلاثة أوجه موجوداً بالقاطرة المتحركة والتي تتم تغذيتها من المصدر الكهربي خلال خطوط كهربية تماثل الخطوط التي تغذي محركات المترو.. أما الجزء التآثيري من المحرك فيكون عادة عبارة عن شريحة من الألومنيوم بطول خط السير الذي يصل إلى عدة كيلومترات وتمثل تكلفة عالية عند إنشاء الخط. وهذه الشريحة إما أن تكون أفقية كما بالشكل رقم (٥) حيث يوضع أسفلها شريحة حديدية بطول الخط لاستكمال مسار المجال المغناطيسي.. أو تكون رأسية كما بالشكل رقم (٦).. ويكون الجزء الابتدائي من النوع المزودج.







شكل رقم (٨): تأثير الأطراف على تغير المجال في منطقتي الدخول والخروج

من تواجد عزم أساسي فقط دون وجود عزم خلفي، أما في الحركات الخلفية وينسب وجود مشاكل End Effects. فإن القوة الأفقية سوف تتواجد بها قوة خلفية تتزايد مع زيادة نسبة عدم التماثل في أي من ثيارات الثلاثة أوجه أو الدائرة المغناطيسية أو بارامترات الأوجه أو جهود الأوجه، وتكون محصلة القوتين الأفقيتين في الاتجاه الأساسي وتمثل قوة الجر التي تتغير بتغير السرعة أو الانزلاق Slip بشكل يشابه تغير عزم المحرك التاثيري الدوار كما في الشكل رقم (١١).

ب- القوى الرأسية Normal Force أو المتعاضدة مع القوى الأفقية. وتتكون من القوى الثلاث الآتية:

١- قوة التناظر بين شريط الألومنيوم وملفات الابتدائي وتسمى Alumin-ium Repulsion Force وهي تنتج من تناظر المجال الناتج من ثيار شريط الألومنيوم الثانوي مع المجال الناتج من الابتدائي، وحيث أن ثيار الثانوي وبالتالي مجاله يتغير بتغير السرعة ويساوي الصفر عند سرعة التزامن، فإن قوة التناظر هذه تتغير كما في الشكل رقم (١٢).

٢- قوة التناظر بين الشريحة العديدة

تكاليف إنشاء خط السير، ولا يجب زيادة العرض بنسبة كبيرة لأن ذلك يؤدي إلى زيادة مقاومة الثانوي لمرور الثيارات مما يسبب زيادة الفقد الكهربي ونقص كفاءة المحرك.

- القوى المؤثرة على المحرك:

عند توصيل الابتدائي في المحرك الفعلي الفأثيري إلى القبع الثلاثي الأوجه، تنشأ القوى الأفقية والرأسية التالية:

أ- قوة الجر الانقسية Traction Force، وتسمى أحياناً Propulsion Force وأكثر الأسماء شهرة لقوة الجر هو Thrust، وتتكون من قوتين متضادتين.. القوة الأمامية الأساسية للجر forward Force والقوة الخلفية Backward Force المضادة لقوة الجر. وهاتان القوتان تتناظران العزمين الأساسي والخلفي في الحركات الدوارة.

وإذا كانت ثيارات الثلاثة أوجه متماثلة والدائرة المغناطيسية متماثلة وكثافة المجال المغناطيسي بشكل جيبي وقبضة المجال المغناطيسي لجميع الأقطاب واحدة وثابتة.. فإن قوة الجر تكون كلها أمالية ولا توجد قوة خلفية مضادة. كما كان يحدث بسهولة في الحركات الدوارة

آخر في قوة الجر وكفاءة المحرك ومعامل قدرته.

ولانخفاض تأثيرات الأطراف End Effects يتم عمل الآتي:

- إنقاص عدد الموصلات في المجري في منطقتي الأطراف.. ويكون ذا تأثير ملحوظ في محركات السرعة المنخفضة وأقل تأثيراً في محركات السرعة العالية.

- زيادة طول الخطوة القطبية Pole Pitch في منطقتي الأطراف عن منطقة الوسط.

- زيادة عدد الأقطاب الكلية للمحرك.

- زيادة المقاومة النوعية للجزء الثانوي من المحرك.

٦- تأثيرات الحواف العرضية Transvers Edge Effects:

في الحركات الدوارة.. يكون طول العضو الدائر مساوياً لطول العضو الثابت. وإذا تم عمل ذلك في المحرك الخطي يجعل عرض الثانوي وهو شريط الألومنيوم مساوياً لعرض الابتدائي كما بالشكل رقم (٩). فإن الثيارات تأخذ المسارات الموضحة بالشكل تبعاً لأقطاب الابتدائي. ويجب أن الأجزاء الفعالة من هذه الثيارات والتي تحدث قوة الجر في الأجزاء الرأسية. أما الأجزاء الأفقية أو المائلة فإنها لا تحدث قوة جر

ونظراً لتساوي عرض الثانوي مع عرض الابتدائي، فإن طول الأجزاء الرأسية للثيارات يكون أقل من عرض الابتدائي واضطرار الثيارات إلى تشغيل جزء من عرض الثانوي لاستكمال مساراتها تحت بقعة الأقطاب.. مما يؤدي إلى نقص الطول الراسي الفعال لثيارات الثيارات وبالتالي نقص قوة الجر.

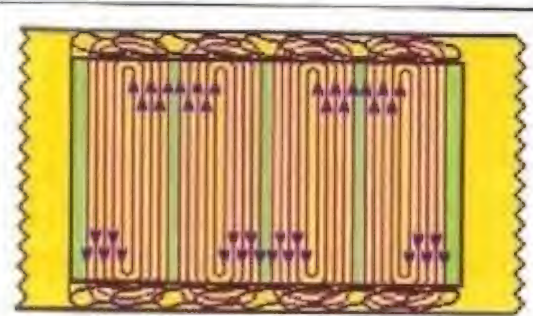
وللتغلب على هذه المشكلة.. يجب زيادة عرض الثانوي المتمثل في شريط الألومنيوم ليكون دائماً بعرض أكبر من عرض الابتدائي كما بالشكل رقم (١٠) مما يسبب زيادة في

الوسط - يصبح مجال الابتدائي متواجداً خلال الثانوي (شريط الألومنيوم) - إلا أنه لا يحدث قطع من مجال الابتدائي لشريط الألومنيوم لتساوي سرعتيهما بالنسبة لبعضهما.. فيبقى المجال كما هو دون إضعاف أو زيادة كما بالشكل رقم (٨). ويخرج أي جزء من شريط الألومنيوم من المحرك مسوفاً يتلأس المجال المغناطيسي الذي كان متعرضاً له.. مما يؤدي إلى قوة دافعة كهربية وتيار ومجال يساعد المجال الأصلي من الابتدائي فيزيده كما بالشكل رقم (٨).

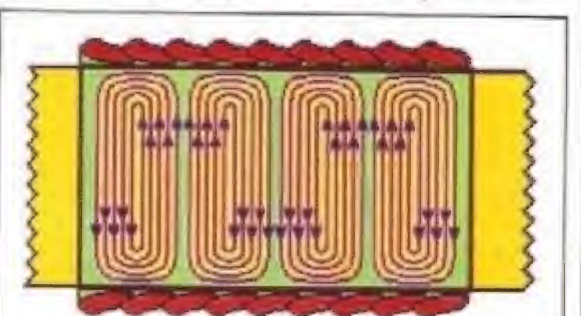
أي أن دخول أي جزء من شريط الألومنيوم داخل المحرك نتيجة لحركة سير القطار يؤدي إلى إنقاص المجال المغناطيسي في منطقة الدخول وزيادته في منطقة الخروج عند أي سرعة سير للقطار.. لأن جزء الشريط مسوفاً يتغير فيه المجال المغناطيسي من الصفر قبل الدخول إلى قيمة المجال بعد الدخول (في منطقة الدخول) ومن قبضة المجال إلى الصفر بعد الخروج (في منطقة الخروج). وهذه التغيرات في منطقتي الدخول والخروج تتزايد بزيادة سرعة القطار لتزيد سرعة قطع المجال.. وتؤدي إلى المشاكل التالية:

أ- ظهور قوى حرملية تؤدي إلى خفض قوة الجر ونقص كفاءة المحرك ونقص معامل القدرة.

ب- عدم تماثل الدائرة المغناطيسية والمجال المغناطيسي أمام الثلاثة أوجه للثيارات الابتدائي مما يؤدي إلى عدم تماثل معاملات الأوجه Phase Parameters وهي مقاومات وممانعات كل وجه - الأمر الذي يؤدي إلى عدم تماثل ثيارات الثلاثة أوجه مما ينتج عنه تشويه في شكل توزيع كثافة المجال المغناطيسي عن الشكل الجيبي فيؤدي إلى زيادة مفائيد الحديد في المحرك ونقص



شكل رقم (١٠): شكل ثيارات الثانوي عند زيادة عرض الثانوي عن عرض الابتدائي



شكل رقم (١٩): شكل ثيارات الثانوي عند تساوي عرض الثانوي مع عرض الابتدائي



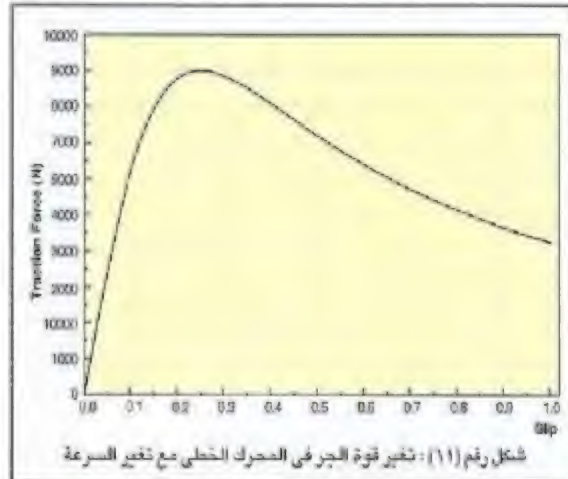
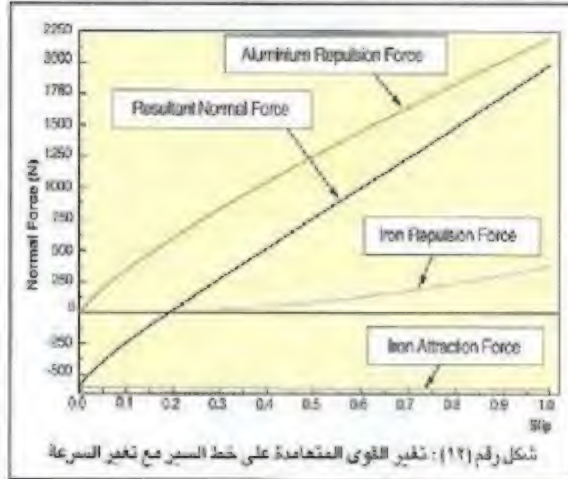
زيادة أو نقصاناً أي أن القوة الكلية يكون تأثيرها صفراً عندما يكون الابتدائي من النوع المزدوج، وتكون محصلة القوى الثلاث السابقة كما بالشكل رقم (١٢). فتكون قوة تنافر عند البدء وفي السرعة المنخفضة، وقوة تجاذب في السرعات العالية القريبة من سرعة التزامن.

في العدد القادم:  
الألات الكهربائية الخاصة

الابتدائي أكثر من اللازم.  
٢- قوة التجاذب بين الشريحة الحديدية ومجال ملفات الابتدائي وتسمى Iron Attraction Force. وتكون هذه القوة ثابتة مع تغير السرعة كما بالشكل رقم (١٢) عندما يكون تيار الابتدائي ثابتاً. وإذا كان المحرك من النوع ذي الابتدائي المزدوج فإن هذه القوة تكون بين حديد كل جزء ومجال ملف الجزء الآخر إلا أنها لن تؤثر على مجموع القوى المتعادلة

في رفع القطار أثناء السير وكذلك في التغلب على قوة الجذب التي تنشأ وتتغير قوة التنافر هذه بتغير السرعة أيضاً مثل القوة السابقة كما في الشكل رقم (١٣). وإذا كان المحرك من النوع ذي الابتدائي المزدوج كما في الشكلين (٦)، (٧) فإن قوة التنافر هذه تقل لأن حديد الابتدائي في الجهتين من رقائق الصلب السليكون لتقلض صفائيه الحديد وعدم رفع درجة حرارة

Back Iron الموجودة أسفل شريط الألومنيوم كما بالشكل رقم (٥) وبين ملفات الابتدائي وتسمى Iron Repulsion Force. وتنتج هذه القوة من تنافر المجال الناتج عن تيار الشريحة الحديدية مع مجال طاقات الابتدائي.. ولهذا يجب أن تكون الشريحة الحديدية من الحديد الصامت وليست من رقائق الحديد الممزول حتى يزداد تيارها وتزداد قوة التنافر هذه لأن هذه القوة تساعد



**المصرية**  
**للأنظمة الصناعية**

وكلاء

**ELECTRUM**

أنظمة الأرضي .. والأرضي المتنقل

**PSR**  
Lightning Conductor

أنظمة الحماية من الصواعق

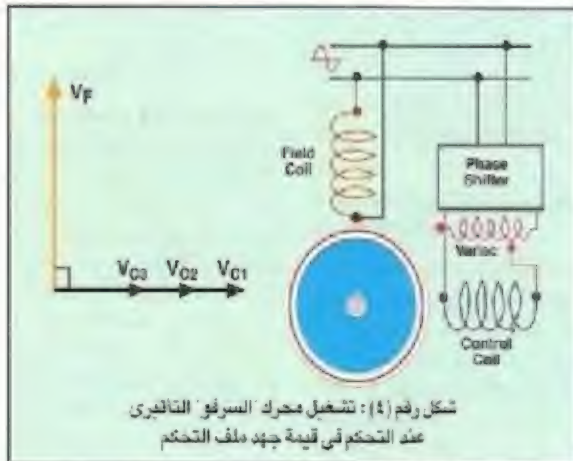
تصميم وتوريد وتركيب

متخصصون في أنظمة الحماية الكاثودية

٤ عمارات القديوس - الدور الأول - شقة ١٤  
بجوار نادي السكة الحديد - م. نصر - القاهرة  
تليفون: ٩٨٤٣٤٩٥ - فاكس: ١٥٣٣٥٤٤ / ١٠

E-mail: egysys@link.net





شكلًا قريباً من شكل عزم محرك التيار المستمر «السرفو» عندما يتم التحكم فيه بتغيير جهد عضو الاستشاح وهي خواص جيدة ومرغوبة.

٥- مجموعة العزم الموجبة تأخذ شكلاً قريباً من الخطوط المستقيمة.. وهو هدف يجب الوصول إليه في أي محرك «سرفو».

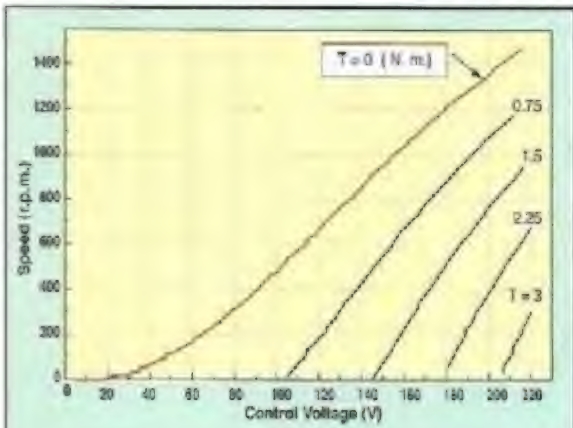
٦- العيب الرئيسي لهذه الخواص.. هو أن ميل هذه المنحنيات ليس ثابتاً.. أي أن معدل تغير العزم بالنسبة للسرعة  $dT/dN$  يختلف من جهد تحكم إلى جهد آخر، وهو ما يظهر من تقاطع منحنى العزم عند نصف جهد التحكم ( $V_C = 0.5V_F$ ) مع محور السرعة عندما يكون العزم مساوياً للصفر، حيث نجد أنه يتقاطع عند سرعة في حدود ٧٠٪ من سرعة التزامن. ولو كان هذا التقاطع عند ٥٠٪ من سرعة التزامن.. لكنت جميع المنحنيات متوازية أي أن ميلها واحدة وهو هدف بسيط

المجال المغناطيسي بكافئ مجالين كل منهما Circular Rotating Field أحدهما أمامي والثاني خلفي ومختلفين في القيمة بحيث يكون المجال الخلفي مساوياً للصفر عند  $V_C = V_F$ .. وكلفنا نقص  $V_C$  تزداد قيمة المجال الخلفي إلى أن يتساوى المجال الخلفي مع المجال الأمامي عند  $V_C = 0$ .

وتكون عزم المحرك كما بالشكل رقم (٥) عند جهود التحكم المختلفة خلال تغير السرعة من الصفر إلى سرعة التزامن حيث نلاحظ ما يلي:

- ١- عند  $V_C = V_F$  يكون العزم موجباً عند جميع السرعات.. أي أنه عزم محرك Motoring Torque.
- ٢- عند  $V_C = 0$  يكون العزم سالباً عند جميع السرعات.. أي أنه عزم إرمل Braking Torque.
- ٣- عندما يكون  $V_C$  بين الصفر والجهد المقت  $V_F$ .. يكون العزم موجباً في السرعات المنخفضة وسالباً في السرعات العالية.

٤- بالنظر إلى شكل مجموعة العزم الموجبة.. نجد أنها تأخذ



شكل رقم (٦): تغير سرعة المحرك مع تغير جهد التحكم عند عزوم مختلفة.

### الثلث التالية:

#### ١- التحكم في قيمة جهد ملف التحكم Amplitude Control:

في هذه الطريقة.. يتم توصيل ملف المجال مباشرة وباستمرار إلى منبع تيار متردد ذي وجه واحد كما بالشكل رقم (٤). أما ملف التحكم.. فتستخدم معه وحدة إزاحة Phase Shifter للحصول منها على جهد التحكم  $V_C$  يتأخر أو يتقدم بزاوية زمنية  $90^\circ$  عن جهد ملف المجال  $V_F$  وتغيير قيمة جهد ملف التحكم.. يستخدم تغير لقيمة الجهد مثل Variac. وبذلك، فإن الجهد  $V_F$  إذا كان في الاتجاه الرأسي - كما في الشكل رقم (٤) - يكون ثابت القيمة.. بينما يكون جهد التحكم  $V_C$  أفقياً ومستقيم القيمة حيث تكون أكبر قيمة له  $V_{C1}$  مساوية لجهد المجال  $V_F$ .. أما الجهود الأخرى  $V_{C2}$ ,  $V_{C3}$  فإنها تقل عن  $V_{C1}$ .

وحيث أن ملفي المجال والتحكم متعامدان في الفراغ ومتماثلان في عدد اللفات.. فإنه بتوصيلهما إلى الجهدين  $V_F$ ,  $V_{C1}$  للتساويان في القيمة وبينهما زاوية زمنية  $90^\circ$ .. فإن المجال المغناطيسي الناتج عنهما يكون مجالاً دائرياً ثابت القيمة Circular Rotating Field ينتج عزم دوران أمامي فلف Forward Torque تكون قيمته موجبة عند أية سرعة كما في الشكل رقم (٥).. عندما يكون جهد التحكم  $V_C$  يساري الجهد المقت  $V_F$ .. وعندما يقل  $V_C$  عن  $V_F$ .. فإن المجال المغناطيسي يبقى مجالاً دائرياً Rotating ولكن ليس ثابت القيمة.. بل تتغير قيمته من لحظة إلى أخرى بحيث تدور قيمته على محيط قطع ناقص ويسمى Elliptical Rotating Field. وهذا

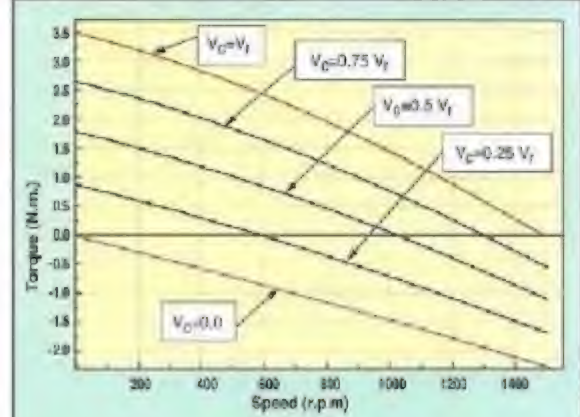
لدوران بآلة وسيلة خارجية طالما كان ملف واحد هو الذي يتم تغذيته من منبع الكهرباء.

كما يلاحظ.. أن تغذية ملف واحد في محرك القوي يؤدي إلى احتراق هذا الملف إذا بقي العضو الدائر ساكناً لأن تيار البدء أعلى كثيراً من تيار الدوران كما في الشكل رقم (٣). أما محرك «السرفو» فإن تيار بدئه يكون صغيراً وقريباً من تيار الدوران.. لهذا.. لا توجد أية خطورة على الملف إذا بقي موصلاً بالمنبع سواء كان المحرك دافراً أم ساكناً. وفي محرك «السرفو» التأثيري.. يسمى هذا الملف الذي يوصل بالمنبع باستمرار بملف المجال لأنه يتأخر في أدائه ملف المجال في محركات التيار المستمر حيث يتحمل استمرار توصيله بالمنبع الكهربائي سواء كان المحرك ساكناً أم دافراً.

ولتشغيل محرك «السرفو» التأثيري.. يبقى ملف المجال متصلاً بالمنبع.. وعند الحاجة لدوران المحرك يتم توصيل الملف الثاني - وهو ملف التحكم - بالمنبع الخاص به.. ولإيقاف المحرك.. يتم فصل ملف التحكم فقط حتى يعمل المجال الناتج من ملف المجال على قسمة المحرك وتوقيفه السريع لكي يصبح سريع الاستجابة للتوقف. أما إذا تم فصل ملف المجال مع ملف التحكم عند الرغبة في إيقاف المحرك.. فإن التوقف يأخذ زمناً طويلاً لغذ العزم الفرطي الذي ينشأ من ملف المجال.

#### التشغيل والتحكم في محرك «السرفو» التأثيري

ويتم تشغيل محرك «السرفو» التأثيري والتحكم فيه بأي من الطرق



شكل رقم (٥): تغير عزم المحرك مع تغير السرعة عند جهود تحكم مختلفة



# المحرك التأثيري ذو العضو الدائر المحبب

## Solid Rotor Induction Motor

د. فتحى عبد القادر

رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شبين الكوم

أخري على محيط العضو الدائر - إلا أنها تكون شبه ثابتة خلال خط نصف قطر عن سطح العضو الدائر إلى المركز وهذا الشكل يجعل طول مسارات التيار كبيراً عند بدء الدوران.. وبالتالي تكون المقاومة المكافئة للعضو الدائر عالية.

ومع دوران العضو الدائر.. فإن خطوط المجال المغناطيسي تأخذ الأشكال المقوسة الموضحة في الشكل رقم (٢) والتي تؤدي إلى زيادة كثافة المجال المغناطيسي قرب سطح العضو الدائر وتناقصه نحو الداخل.. وبالتالي يقل طول مسارات التيارات مما يؤدي إلى نقص المقاومة المكافئة للعضو الدائر المصنوع مع زيادة سرعة الدوران.

وعلى هذا.. لحينما نجد أن المقاومة المكافئة للعضو الدائر تتغير مع تغير السرعة أو الانزلاق Slip كما في الشكل رقم (٣). حيث زادت مقاومة العضو الدائر المصنوع لزيادة المقاومة النوعية Resistivity للحديد عن المقاومة النوعية للألومنيوم المستخدم في القفص السنجابي.. وتكون المقاومة بالنسبة الموضحة في الشكل رقم (٣)

٢- الاختلاف الكبير في قيم ومعدل تغير ممانعة الهروب للعضو الدائر Ro- tor Leakage Reactance رقم ثبات ممانعة الهروب للعضو الدائر في القفص السنجابي عند قيمة صغيرة كما بالشكل رقم (٤).. لأن ممانعة الهروب لا تكاد تتأثر بظاهرة Skin Effect الناتجة في القفص السنجابي

٣- أنه بسبب انتظام خطوط المجال المغناطيسي وتوزيعه اللين في الشكل رقم (٢) عند بدء الدوران للعضو الدائر المصنوع.. فإن المجال الأساسي المغنط Magnetising Flux يزداد.. وبالتالي يكون للمجال الهروب صغيراً.. ومن ثم.. فإن ممانعة هروب العضو الدائر المصنوع عند السكون تكون

٢- تتغير قيمة المقاومة المكافئة للعضو الدائر ذي القفص السنجابي مع تغير السرعة.. نتيجة لظاهرة التأثير السطحي Skin Effect في موصلات العضو الدائر الألومنيوم التي يكون مقطعها هو شكل مجري العضوي الدائر.. حيث تكون المقاومة عند بدء الدوران عالية لمرور التيار في الجزء الخارجي من الموصلات جهة سطح العضو الدائر حيث تكون مساحة الموصلات التي يمر بها التيار صغيرة وبالتالي تكون مقاومة العضو الدائر كبيرة.. ومع زيادة السرعة.. يقل التأثير السطحي للقفص تردد العضو الدائر مما يجعل التيارات تمر في مساحة أكبر من الموصلات الألومنيوم وبالتالي تنخفض المقاومة المكافئة للعضو الدائر كلما زادت سرعة المحرك.. وهذا التغير في مقاومة القفص السنجابي يحسن من خواص هذا المحرك لبقريه من خواص المحرك ذي العضو الدائر اللولوف Wound Rotor بحيث تزداد عزم المحرك ذي القفص السنجابي طوال فترة تزايد السرعة خلال بدء الدوران.

أما العضو الدائر المصنوع.. فإن مقاومته المكافئة تأخذ شكلاً مختلفاً في القيمة والتغير.. لأن مسارات التيارات في العضو الدائر المصنوع تعتمد على مسارات خطوط المجال المغناطيسي فيه.. وتختلف مسارات المجال.. مع تغير سرعة العضو الدائر.. فعند سكون المحرك خلال لحظة بدء الدوران.. تكون خطوط المجال المغناطيسي بالشكل التقليدي الموضح في الشكل رقم (٢) للمحرك التكون من قطبين.. وهذا الشكل لخطوط المجال.. يؤدي إلى تيارات منتظمة الشكل في اتجاه محور الدوران المتعاكس على اتجاه خطوط المجال المغناطيسي.. وتختلف كثافة هذه التيارات قيمة واتجاهاً من نقطة إلى

تحدث مع قفص السنجابي.. وبالتالي تتلشى مشاكل هذه التوافقيات من زيادة المفاقيد ونقص العزم وزيادة الضجاء.

٧- نقص مستوى الضجاء Noise بنسبة كبيرة عن محرك القفص السنجابي.

٨- معامل قدرة أفضل من محرك القفص السنجابي وطول المدى الكبير لتغير السرعة.

### نظرية التشغيل

تعتبر نظرية تشغيل هذا المحرك.. هي نفس نظرية تشغيل المحرك التأثيري التقليدي ذي العضو الدائر ذي القفص السنجابي.. إلا أن التيارات الأساسية في العضو الدائر كانت تمر في الموصلات والحلقات الطرفية الألومنيوم في القفص السنجابي.. أما في العضو الدائر المصنوع فإن تيارات العضو الدائر تمر في الجسم الحديدي المصنوع ذاته في مسارات أكثر تنظيمياً وتوزيعاً في خطوط موازية لجداري العضو الثابت.. وتستكمل مساراتها في الطرفين أيضاً خلال حديد العضو الدائر المصنوع.. ولهذا.. فإن العضو الدائر في هذا المحرك لا يجب أن يكون من رقائق الصلب المعزول لأن تيارات العضو الدائر سوف تكون صغيرة جداً بدرجة لا تعطي أي مجال كافٍ من العضو الدائر لإيجاد عزم من المحرك.

### اختلاف الخصائص

يرجع اختلاف الخصائص بين محركي القفص السنجابي والعضو الدائر المصنوع إلى الأسباب التالية:

١- تواجه التيارات مقاومة مادية مكافئة Equivalent Rotor Resistance ذات قيمة أعلى بكثير من المقاومة المادية المكافئة للعضو الدائر ذي القفص السنجابي.. تمر في حديد العضو الدائر المصنوع.

تتناول هذه الدراسة.. عدة أنواع من المحركات الكهربائية الخاصة أو ما يسمى بالآلات الخاصة Special Ma-chines التي هي تعديل لمحركات تقليدية لإعطاء خواص محددة لكل نوع.. وغالباً ما تكون هذه المحركات صغيرة أو متوسطة القدرة.. وهي أكثر أنواع المحركات التي تجري عليها الأبحاث لتطوير تكوينها وتطوير وسائل التحكم فيها.. وأول هذه المحركات هو تعديل المحرك التأثيري ثلاثي الأوجه من النوع ذي القفص السنجابي Squirrel Cage ليصبح العضو الدائر كـ مجرد قطعة حديد واحدة مصممة Solid Rotor كما بالشكل رقم (١)

ويتم تعديل هذا المحرك المعروف بتسميته على معنم المحركات.. بهدف الحصول على الميزات التالية:

١- تبسيط مكونات العضو الدائر بدلاً من استخدام رقائق الصلب السليكوني وتفتيح مجار بها ورصها بحيث تأخذ زاوية ميل مسندة.. ثم صب الألومنيوم في المجاري وتشكيل الحلقات الطرفية End Rings في العضو الدائر لقفص السنجابي.. حيث تستخدم قطعة من الصلب الطوري Mild Steel بنفس الأبعاد الخارجية للجزء الحديدي من العضو الدائر القفص السنجابي.

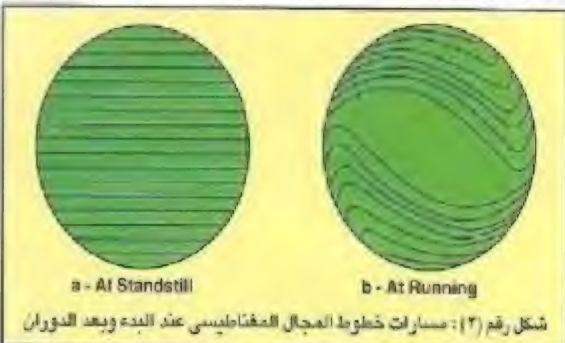
٢- ضمان عمر أطول للعضو الدائر المصنوع دون حاجة للصيانة.. حيث يحتاج العضو الدائر للقفص السنجابي إلى الصيانة عندما يحدث قطع في الحلقات الطرفية أو في موصلات الجاري نتيجة لتيارات القصص العالية عند حدوث أعطال أو عند تكرار عمليات بدء الدوران بعدلات عالية.

٣- زيادة مدى تغير السرعة مع اتزان المحرك.. حتى يمكن استخدام وسيلة بسيطة للتحكم في السرعة عن طريق تغيير جهد العضو الثابت حيث يمكن تغيير السرعة من الصفر وحتى قرب سرعة التزامن.

٤- الاستغناء عن وسيلة بدء الدوران للقفص التيارات عند السرعات المنخفضة.

٥- تحمل تكرار بدء الدوران لأي عدد من الثورات في الساعة.

٦- توزيع أفضل لكثافة المجال المغناطيسي على محيط العضو الدائر بحيث تكون جيبيية Sinusoidal.. وبدون توافقيات مجاري العضو الدائر Rotor Slot Harmonics التي كانت

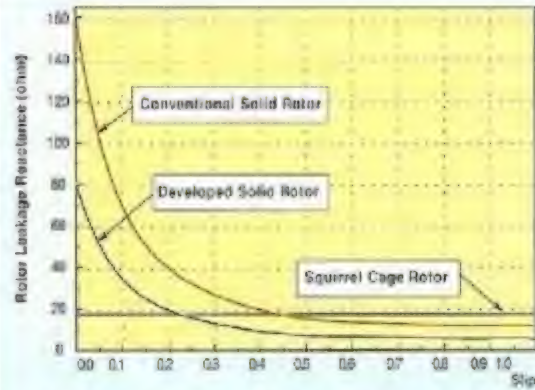


شكل رقم (٢): مسارات خطوط المجال المغناطيسي عند البدء وبعده الدوران

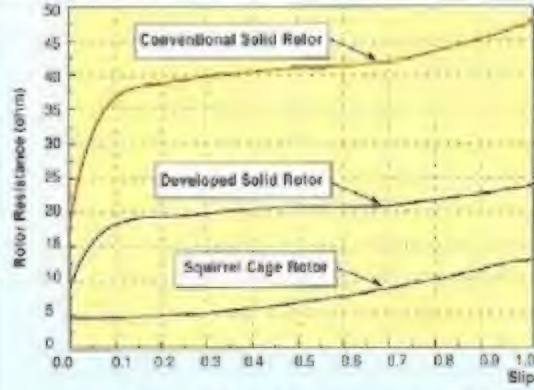


شكل رقم (٣): العضو الدائر المصنوع





شكل رقم (٤): تغير ممانعات هروب العضو الدائر مع تغير السرعة



شكل رقم (٣): تغير مقاومات العضو الدائر مع تغير السرعة

يوضح الشكل رقم (٨) تغير عزم المحرك مع تغير السرعة منذ التسكون عند بدء الدوران. وحتى الوصول إلى سرعة القزامن، ونلاحظ، أن المحرك ذي القفص السنجابي إذا تم زيادة الحمل عليه بعد أن يتم تشغيله، فإن سرعته تنخفض من حوالي ٩٥٠٠ إلى حوالي ١٤٠٠ لفة/دقيقة عند الحمل الكامل، وإذا تم زيادة عزم الحمل عليه أكثر من ذلك فإن تياراته ومفاقيده تزداد ولا يتحملها المحرك. ولا يجب أن يبقى المحرك ذي القفص السنجابي عاملاً مع الحمل خلال مدى السرعة من صفر حتى حوالي ١٤٠٠ لفة/دقيقة. وتسمى هذه المنطقة من السرعات بمنطقة عدم الاتزان - Stable Region. أما المنطقة من ١٤٠٠ - ١٥٠٠ لفة/دقيقة فتسمى بمنطقة الاتزان Stable Region. وأهم عيوب هذه الخواص أن المحرك ذي القفص السنجابي لا يمكن تغيير سرعته خلال كل منطقة عدم الاتزان باستخدام الطرق البسيطة لتغيير السرعة عن طريق تغيير الجهد المسلط على العضو الثابت للمحرك. وهذه المنطقة من السرعات منطقة عريضة تصل إلى ٩٢٪ من سرعة المحرك عند اللاحل.

ب- المحرك ذو العضو الدائر المصمت التقليدي Conventional Solid Rotor

الكفاءة وممانعة الهروب للعضو الدائر بقيم مناسبة لإعطاء عزم عالية خلال تغير السرعة لدى كبير مع تيارات مناسبة في كل من العضو الدائر والعضو الثابت يتمليها المحرك بسهولة. وما زالت الأبحاث مستمرة لتطوير هذا المحرك للوصول إلى أية خصائص محددة تكون مطلوبة.

#### خواص الأداء

يتم حساب خواص الأداء لهذا المحرك من الدائرة المكافئة له والتي تقب الدائرة المكافئة للمحرك ذي القفص السنجابي. وللتبسيط، يمكن تثبيت قيم مقاومات وممانعات الدائرة المكافئة مع تغير السرعة في المحرك ذي القفص السنجابي. أما في محرك العضو الدائر المصمت فيجب أن تكون قيمة المقاومة المكافئة وممانعة الهروب للعضو الدائر متغيرة مع تغير السرعة كما بالشكلين رقمي (٣)، (٤).

ونظراً لأن هذا المحرك يعتبر تعديلاً للمحرك ذي العضو الدائر ذي القفص السنجابي، فسوف نوضح خواص الأعداد الثلاثة أنواع من المحركات لكي تتضح الفروقات بينها. وقد أخذت مقاومات وممانعات هروب العضو الدائر متغيرة مع السرعة كما بالشكلين رقمي (٣)، (٤).

أ- المحرك ذو القفص السنجابي Squirrel Cage Motor

٤- عمل مجاري في السطح الخارجي للعضو الدائر في اتجاه محور الدوران كما بالشكل رقم (٧) ويسمى بالعضو الدائر المشقوق Slotted Rotor وذلك بطريقة مشابهة لجاري العضو الدائر ذي القفص السنجابي، إلا أنها تكون ذات عرض وعمق أقل، أما عدد هذه المجاري، فيماتل عدد مجاري العضو الدائر ذي القفص السنجابي ويتناسب شروطه حتى لا تظهر مشاكل توافقية منحنى العزم مع السرعة وما يتبعها من مشاكل نقص العزم والتأرجح والقلقة حول سرعة معينة خلال فترة بدء الدوران. وعادة ما توضع في هذه المجاري موصلات من النحاس أو من الألومنيوم على شكل شرائح Strips. يتم توصيلها مع بعضها من الطرفين خلال الحلقات الطرفية End Rings لتشكل قفص سنجابي رقيق، ولا يجب أن نقول هنا أن العضو الدائر عاد كما كان عضواً دائراً ذي قفص سنجابي. لأنه في القفص السنجابي التقليدي تمر كل تيارات العضو الدائر تقريباً في القفص ذاته ولا يمر برقائق حديد العضو الدائر أية تيارات. أما في العضو الدائر المصمت من هذا النوع Slotted Rotor فإن جزءاً من تيارات العضو الدائر يمر بالقفص السنجابي وجزءاً آخر ذا قيمة عالية يمر بصديد العضو الدائر المصمت. مما يجعل كلاً من المقاومة

صغيرة جداً كما بالشكل رقم (٤) ومع زيادة سرعة العضو الدائر وتكون خطوط المجال المستقط وتزاحمه قرب السطح الخارجي للعضو الدائر - شكل رقم (٢) - تحدث زيادة للسعال الهارب وبالتالي زيادة ممانعة هروب العضو الدائر المصمت بتسبة كبيرة مع زيادة السرعة كما بالشكل رقم (٤).

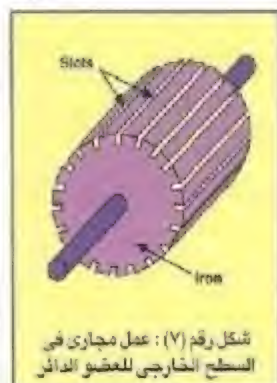
#### طرق التطوير

نظراً لزيادة المقاومة المكافئة للعضو الدائر المصمت بتسبة كبيرة عن القفص السنجابي، فإن عزم المحرك تنخفض خصوصاً في السرعات العالية ويتم تطوير المحرك ذي العضو الدائر المصمت لزيادة هذه العزوم بالطرق التالية:

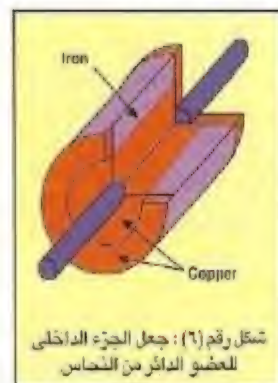
١- إضافة غشيرة خارجية من النحاس على سطح العضو الدائر وتصنع هذه الغشيرة بطريقة التشكيل الكهربائي Coat ing لتكون رقيقة وشديدة الالتصاق بالسطح الخارجي للعضو الدائر. مما يؤدي إلى نفس المقاومة المكافئة للعضو الدائر عند جميع السرعات وبالتالي تتحسن خواص الأداء للمحرك.

٢- صب حلقة نحاسية في كل من طرفي العضو الدائر كما بالشكل رقم (٥). لتعمل خلالها تيارات العضو الدائر في الأطراف مثل الحلقات الطرفية End Rings في القفص السنجابي مما يؤدي أيضاً إلى مزيد من نقص المقاومة المكافئة للعضو الدائر وبالتالي تحسن أكثر لخواص الأداء للمحرك ذي العضو الدائر المصمت.

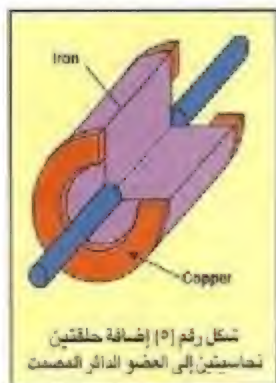
٣- جعل الجزء الداخلي للعضو الدائر حول محور الدوران - من النحاس بشكل اسطوانة داخلية كما بالشكل رقم (٦). مما يؤدي إلى المزيد من نقص المقاومة المكافئة للعضو الدائر كما تؤدي هذه الاسطوانة النحاسية الداخلية إلى نقص في ممانعة هروب العضو الدائر مما يؤدي إلى المزيد من التحسين في خواص المحرك. ويطلق على هذا النوع أحياناً اسم الجلية أو Sleeve Rotor.



شكل رقم (٧): عمل مجاري في السطح الخارجي للعضو الدائر

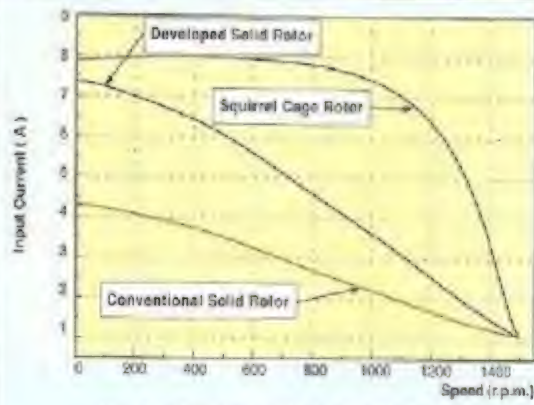


شكل رقم (٦): جعل الجزء الداخلي للعضو الدائر من النحاس

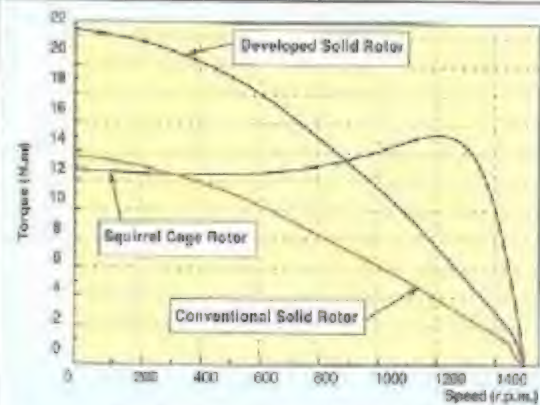


شكل رقم (٥) إضافة حلقتين نحاسيتين إلى العضو الدائر المصمت





شكل رقم (٩): تغير تيارات المحرك مع تغير السرعة



شكل رقم (٨): تغير عزوم المحرك مع تغير السرعة

العضو الدائر المصمت المطور.. إلا أنها ما زالت منخفضة في السرعات المنخفضة كما بالشكل.

ويوضح الشكل رقم (١٢) تغير معامل قدرة المحركات الثلاثة مع تغير السرعة. ونجد أن معامل القدرة للمحرك ذي القفص السنجابي يتزايد من أصغر قيمة عند الأحمال وحتى أكبر قيمة عند الحمل الكامل عند سرعة ١٤٠٠ لفة/دقيقة.. بينما في المحركين الآخرين يتزايد معامل القدرة من نفس القيمة عند الأحمال ويستقر في التزايد مع انخفاض السرعة.. ويبقى معامل القدرة مرتفعاً طوال مدى كبير من السرعات المنخفضة ويكون أعلى في المحرك ذي القفص الدائر المصمت المطور عنه في النوع التقليدي كما بالشكل.

ونلاحظ.. أن معامل القدرة العالي هذا خلال مدى واسع من السرعات قد يجعل المحرك ذي العضو الدائر المصمت في غير حاجة إلى مكثفات لتحسين معامل القدرة كما يحدث مع المحرك ذي القفص السنجابي.. مما يعتبر من مميزات المحرك ذي العضو الدائر المصمت.

#### الاستخدامات

تستخدم هذه المحركات للأحمال التي تحتاج إلى عزم بدء عالٍ للعمل

ويوضح الشكل رقم (١١) تغير قدرة دخل المحركات الثلاثة مع تغير السرعة. حيث تكون قدرة دخل المحرك ذي العضو الدائر المصمت المطور بأعلى القيم خصوصاً عند بدء الدوران.. بسبب مقاومة عضوه الدائر التي تزيد من معامل قدرته. ومع زيادة السرعة تنخفض قدرة الدخل كما بالشكل.

أما الشكل رقم (١٢) فبين يعطي خواصاً هامة للمحركات الثلاثة.. لأنه يبين تغير الكفاءة مع السرعة لكل محرك. ونلاحظ من هذا الشكل.. أن للمحرك ذي القفص السنجابي تكون كفاءته (صغير) عند الأحمال عند سرعة ١٤٠٠ لفة/دقيقة.. ومع زيادة عزم الحمل تتزايد كفاءته حتى تصل إلى أقصى كفاءة في حدود ٨٤٪ ثم تنخفض قليلاً عند الحمل الكامل عند سرعة ١٤٠٠ لفة/دقيقة.. وبالتالي المنحني من السرعة ١٤٠٠ إلى السرعة (صفر) لا يعمل المحرك فيها باتزان مع الحمل أما المحرك ذو العضو الدائر المصمت التقليدي.. فإن كفاءته تقل عن المحرك ذي القفص السنجابي.. ونقل بنسب أكبر في السرعات المنخفضة.. وهو ما يعتبر من أبرز عيوب هذا المحرك والذي ما زالت الأبحاث تجري لتطويره ونجد أن الكفاءة قد تحسنت مع المحرك ذي

السرعة. ونلاحظ أن محرك القفص السنجابي يأخذ تيارات عالية نسبياً كبيرة عن المحركين الآخرين.. والأهم.. أنه ورغم زيادة عزوم المحرك ذي العضو الدائر المصمت المطور من المحركين الآخرين خلال منطقة واسعة من السرعات المنخفضة.. فإن تياراته تكون أقل من تيارات المحرك ذي القفص السنجابي وذلك لما تسببه مقاومة وممانعة هروب العضو الدائر المصمت المطور من تحسين - أي زيادة - في الزاوية بين مجال العضو الثابت والعضو الدائر.. ويكون المحرك في العضو الدائر المصمت التقليدي أقل المحركات تياراً عند أية سرعة لزيادة كل من مقاومته وممانعته هروبية.

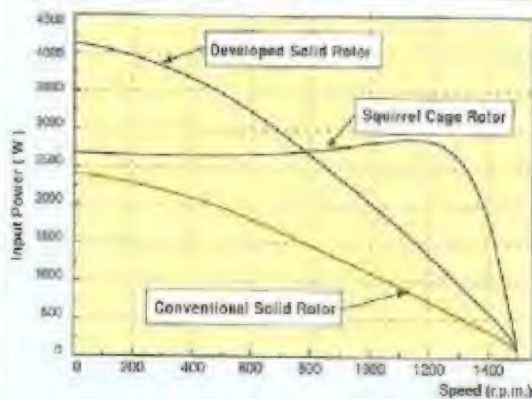
ويوضح الشكل رقم (١٠) تغير قدرة خرج المحركات الثلاثة مع تغير السرعة.. حيث أن أكبر قدرة خرج يمكن الحصول عليها من محرك القفص السنجابي.. أي أن قدرة الحمل الكامل تكون ١٤٠٠ وات عند ١٤٠٠ لفة/دقيقة. ورغم انخفاض قدرة الخرج لمحركي العضو الدائر المصمت التقليدي والمطور عن خرج المحرك ذي القفص السنجابي بسبب صغر السرعات التي يعمل عندها المحرك.. إلا أنه يمكن الحصول على قدرة خرج مناسبة طوال مدى كبير لتغير السرعة.

بعد دوران المحرك عند الأحمال.. تكون سرعة هذا المحرك عالية.. قريب سرعة التزامن (١٥٠٠ لفة/دقيقة).. ويزيادة عزم الحمل.. تنخفض السرعة تدريجياً.. ويمكن تحميل المحرك بعزم أكبر من عزم الحمل الكامل للمحرك ذي القفص السنجابي.. لأن التيارات سوف تكون منخفضة كما يظهر من الشكل رقم (٩). والمهم في هذه الخواص.. أن منطقة الاتزان أصبحت عريضة وأصبح المحرك قابلاً لأن يعمل مع الحمل عند أية سرعة ابتداء من الصفر حتى قريب سرعة التزامن (١٥٠٠ لفة/دقيقة) ولا توجد منطقة عدم اتزان.. وأصبح من السهل التحكم في السرعة بأبسط طرق تغيير الجهد المسلط على العضو الثابت.

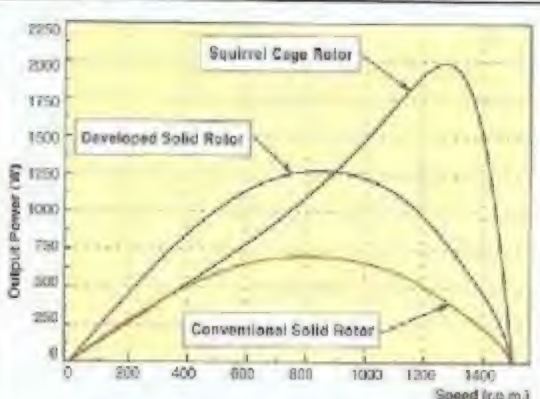
#### جـ- المحرك ذو العضو الدائر المصمت المطور Developed Solid Rotor

وفي هذا المحرك أصكّن زيادة عزوم المحرك والوصول إلى عزوم بدء عالية كثيراً عن المحركين السابقين.. مع الاحتفاظ بقاوسية الاتزان خلال كل السرعات كما في الشكل رقم (٨).

ويوضح الشكل رقم (٩) تغير تيارات المحركات الثلاثة مع تغير

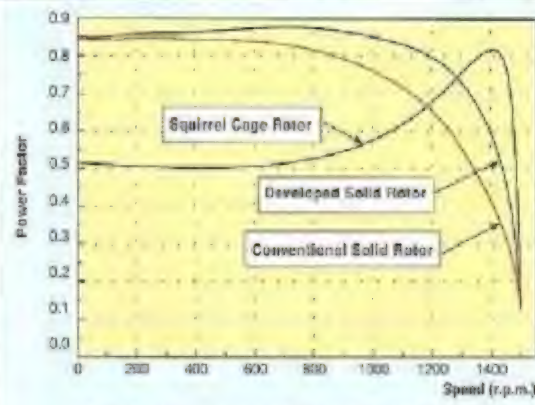


شكل رقم (١١): تغير قدرة دخل المحرك مع تغير السرعة

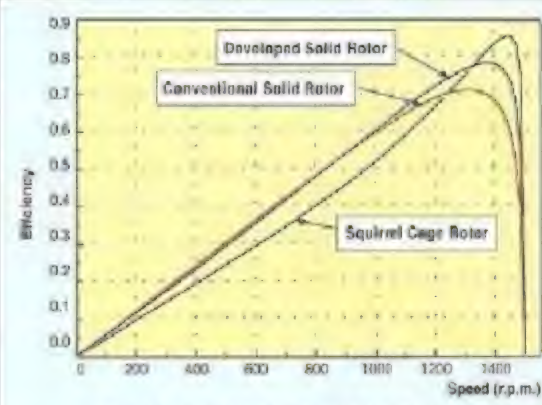


شكل رقم (١٠): تغير قدرة خرج المحرك مع تغير السرعة





شكل رقم (١٣): تغير معامل قدرة المحرك مع تغير السرعة



شكل رقم (١٤): تغير كفاءة المحرك مع تغير السرعة

بالتيارات الإعصارية Eddy Current Coupling. نسبة إلى التيارات الإعصارية التي هي تيارات العضو الدائر المصمت، حيث يتم هذا الربط بين المحرك الرئيسي ثابت السرعة والحمل بواسطة ربط (محرك العضو الدائر المصمت) تسمح بتغيير سرعة العمل رغم ثبات سرعة المحرك الرئيسي

في العدد القادم:

محرك الممانعة المغناطيسية

المصمت عندما يعمل بنظام القرملة للربط الكهروميكانيكي بين محرك كهربائي سرعته ثابتة وحمل يحتاج لسرعة متغيرة يتم الحصول عليها عند تغيير قيمة التيار المستمر الذي يغذي به العضو الثابت، وفي هذه الحالة يكون كل من العضوين الثابت والدائر قابلين للحركة الدورانية، حيث يتم ربط العضو الثابت ميكانيكياً مع حامله دوران الحمل، ويتم ربط عضوه دوران العضو الدائر ميكانيكياً مع حامل دوران المحرك في السرعة الثابتة، وتسمى هذه الطريقة بالربط

تغير السرعة أفضل كثيراً من الققم السنجاني الذي ينتج عزماً فردياً عالياً قرب سرعة الصفر فقط وليس خلال مدى كبير من السرعة كما في العضو الدائر المصمت. وتستخدم عملية القرملة هذه في كثير من الأغراض سواء كان المحرك يعمل كمحرك ثم يراقب فرملته بقاءه دون الاستعانة بأية قرملة إضافية، أو يستخدم قرملة في بعض الأغراض ومنها عمليات التحميل الاصطناعية للمحركات عند اختبارها (أجهزة الدينامومتر Dynamometer). كما، يستخدم العضو الدائر

عند السرعات المنخفضة بعزم عالياً كما تحتاج لتغيير السرعة خلال مدى كبير، ومن أمثلة هذه الأحوال أعمال الجسر الكهربائي Traction بأنواعه المختلفة، والأحمال ذات العزم الثابت مع تغيير السرعة مثل الروافع والأوناش، وسيور نقل الأحمال والسلالم المتحركة. كما يستخدم المحرك ذو العضو الدائر المصمت وهو في حالة قرملة Braking Operation عندما يغذي العضو الثابت بالتيار المستمر ليعطي عزماً فردياً عالياً خلال مدى كبير من



**المصرية  
للأنظمة الصناعية**

أنظمة PLC وشاشات تحكم HMI

مغيرات سرعة AC & DC

أنظمة تحكم في الشد Tension Control

حساسات وعدادات لمختلف التطبيقات

Telemetry & RTU'S

تطوير وصيانة خطوط الإنتاج

مركز صيانة متكامل

لأصلاح مغيرات السرعة والكروت الإلكترونية

٤ عبارات المبروس - الدور الأول - شقة ١٤  
بجوار نادي السكة الحديد - م. نصر - القاهرة  
تلفاكس: ٦٨٤٣٤٩٥ - محمول: ١٥٣٣٥٤٤ / ١٠  
E-mail: egysys@link.net



# محرك المحامنة الحثاطيسية التزامني

## Synchronous Reluctance Motor

د. فتحى عبد القادر

رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شين الكوم

### المعادلات

$$T = 1.5 (V^2/m_p) (1/X_d - 1/X_q) \sin 2\delta \quad (1)$$

حيث:  $V$ : جهد المحرك للوجة - ( $m = 2\pi N/60$ ) - إجمالي ممانعة العضو الثابت للوجة عندما تكون زاوية الحمل مساوية للصفر -  $X_q$ : إجمالي ممانعة العضو الثابت للوجة عندما تكون زاوية الحمل  $90^\circ$  درجة كهربية، وتسمى ( $X_d / X_q$ ) بنسبة البروز Saliency Ratio.

$$C_d = a + (1-a) [(B + (\sin B\pi)/\pi)] \quad (2)$$

$$C_q = a + (1-a) [B - (\sin B\pi)/\pi] \quad (3)$$

حيث:  $C_d$ : معامل الصور المباشر -  $C_q$ : معامل الصور المتعامد -  $a$ : نسبة أقل طول إلى أكبر طول للثغرة - ( $a = D_1/D_2$ )

$$X_d = C_d X_0 + X_1 \quad (4)$$

$$X_q = C_q X_0 + X_1 \quad (5)$$

حيث:  $X_1$ : ممانعة القنطرة Magnetising Reactance للعضو الثابت للوجة إذا كان العضو الدوار على شكل أسطوانة دائرية بدون أي قطع فيها -  $X_0$ : ممانعة البروز للوجة للعضو الثابت.

ويتم حساب عزم الدوران  $T$  لهذا المحرك من المعادلة رقم (١).

### تأثير شكل العضو الدوار على خواص المحرك

يؤثر شكل العضو الدوار على قيمة كل من  $X_d$  و  $X_q$  والنتيجة تؤثران بدورها على باقي خواص المحرك والعاملان الرئيسيان في تحديد شكل العضو الدوار هما: عمق الجزء المقطوع من العضو الدوار والذي يؤثر على قيمة طول الثغرة الهوائية  $g_2$  في المحور المتعامد Q-Axis. والمعامل  $B$  وهو نسبة عرض الجزء البارز من العضو الدوار Pole Arc إلى عرض الخطوة القطبية Pole Pitch أي أن  $B = \text{Pole Arc} / \text{Pole Pitch}$  ويتلخص تأثير هذين العاملين في:

١- تأثير طول الثغرة الهوائية  $g_2$  تكون الثغرة الهوائية  $g_1$  في المحور

Load Angle والتي تزداد بزيادة عزم الحمل إلى أن يصل العزم إلى أقصى Pull Out أو Maximum Torque حيث تصل زاوية الحمل إلى  $45^\circ$  درجة كهربية ويخرج المحرك من التزامن وتصل سرعته إلى الصفر إذا تجاوز عزم الحمل هذه القيمة. ويلاحظ أن زاوية أقصى حمل كانت  $90^\circ$  درجة كهربية في المحرك التزامني التقليدي. لأن العزم كان (صفرًا) عند زاوية حمل (صفر)، وكذلك عند زاوية حمل  $180^\circ$  درجة كهربية. أما في محرك المحامنة الحثاطيسية. فإن العزم يكون (صفرًا) عند زاوية حمل (صفر)، ولكن بسبب تشابه الأجزاء البارزة في العضو الدوار وبدون أي قطبية شمالية أو جنوبية. فإن العزم يكون (صفرًا) مرة ثانية عند زاوية حمل  $90^\circ$  درجة كهربية. لأنه لن تحدث قوة جذب بين مجال العضو الثابت والأجزاء البارزة من العضو الدوار.



التزامني Synchronous الذي تتحدد سرعته التزامنية  $N_s$  من العلاقة ( $N_s = 60 / p$ ) حيث:  $p$  عدد أزواج الأقطاب.

ويلاحظ أن عدد الأجزاء البارزة من العضو الدوار مساو لعدد الأقطاب التي ينتجها العضو الثابت وهي أربعة - شكل رقم (١). وعندما يكون المحرك دائري بدون حمل. فإن محور الجزء البارز من العضو الدوار يكون واقفاً في منتصف مجال قطب العضو الثابت. أي أن محور العضو الدوار منطبق على محور قطب العضو الثابت. ويسمى محور العضو الدوار بالمحور المباشر D-Axis أو Direct Axis. أما المحور المتعامد عليه والذي يقع عند أكبر طول للثغرة الهوائية بين العضو الثابت والعضو الدوار - فيسمى بالمحور المتعامد Q-Axis أو Quadrature Axis. والتعامل هنا هو زاوية  $90^\circ$  درجة كهربية التي تساوي  $45^\circ$  درجة ميكانيكية للمحرك ذي الأربعة أقطاب.

ومع تصميم المحرك بأن حمل ميكانيكي. يتأخر محور العضو الدوار عن محور قطب العضو الثابت بزاوية في الفراغ تسمى بزاوية الحمل

يعتبر هذا المحرك تعديلاً للمحرك التزامني التقليدي من النوع ذي الأقطاب البارزة Salient Poles بهدف الحصول على المزايا التالية:

١- الاستغناء عن ملفات الأقطاب وبالتالي توفير تكلفتها عند التصنيع.

٢- توفير الطاقة الكهربائية التي كانت تستهلك في ملفات الأقطاب. مما يؤدي إلى توفير في تكاليف التشغيل المستمرة Running Cost.

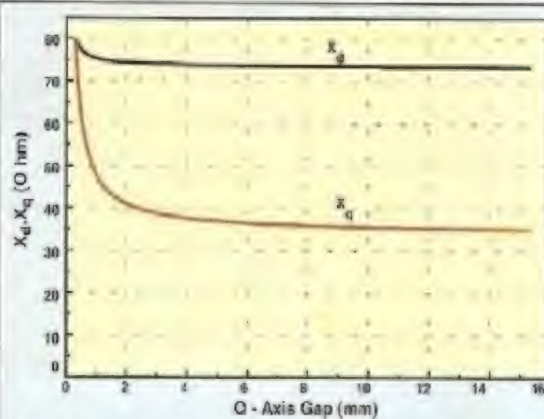
٣- الاستغناء عن منظومة تغذية ملفات الأقطاب وما يلزمها من حلقات إزلاق وغرض كربونية تمنح للصيانة المستمرة. ويصبح المحرك من النوع الخالي من الفرش Brushless.

٤- الاستغناء عن ملفات المجال. حتى يتيح الفراغ الذي كان لازماً لها إمكانية وضع قضب سنجابي Squirrel Cage أفضل يعطي عزم بدء دوران وعزم انحنال Damping Torque عاليين.

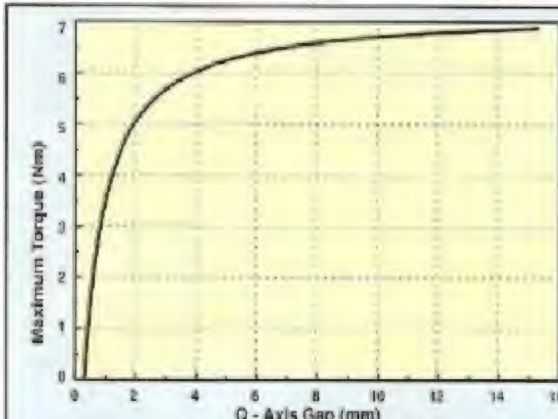
وبما أن العضو الثابت Stator لهذا المحرك. العضو الثابت للمحرك التزامني أو المحرك التآثيري. أما العضو الدوار للمحرك Rotor فإنه - في النوع التقليدي - يكون عبارة عن أسطوانة من الحديد المصمت يتم قطع أجزاء منها لتشكيل ما يشبه الأقطاب البارزة كما في الشكل رقم (١).

### نظرية عمل المحرك

يتم تغذية العضو الثابت من مصدر ثلاثي الأوجه لينشأ مجال مغناطيسي دائري Rotating Field تقوم أقطابه بجذب الأجزاء البارزة للعضو الدوار لتدور بنفس سرعة المجال الدوار التزامنية الثابتة بثبات تردد المصدر. ولهذا. يكون هذا المحرك من النوع

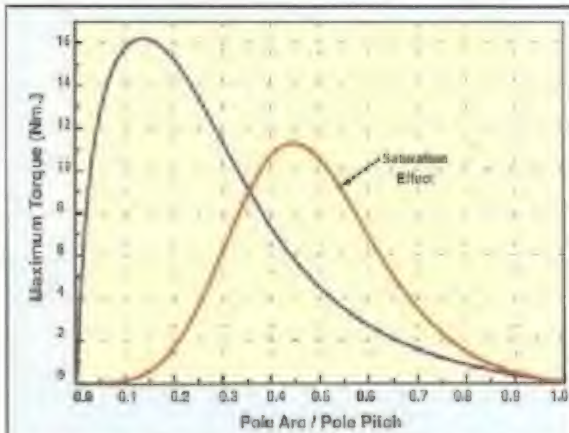


شكل رقم (٣): تغير  $X_d$ ،  $X_q$  مع تغير طول الثغرة في المحور العمودي



شكل رقم (٢): تغير العزم الأقصى مع تغير طول الثغرة في المحور العمودي





شكل رقم (٥): تغير العزم الأقصى مع تغير نسبة عرض الجزء البارز إلى الخطوة القطبية

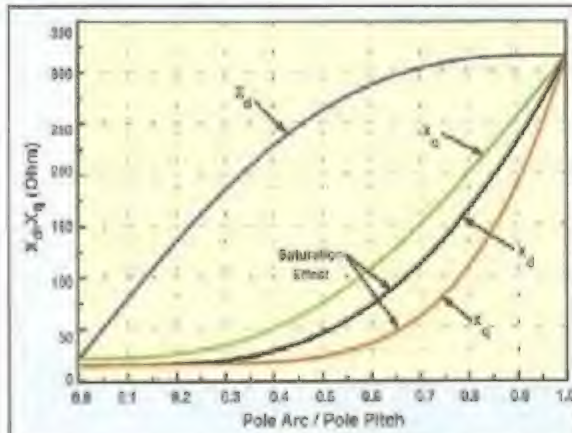
إلى نقص  $X_d$ ، أما السبب الثاني فهو زيادة تشبع حديد الجزء البارز من العضو الدوار كلما نقصت قيمة  $B$  مما يؤدي إلى نقص قيمة كل من  $X_d$  و  $X_q$  عن قيمتهما بأفعال تأثير التشبع كما بالشكل رقم (٤).

أما العزم الأقصى للمحرك فإنه يتغير بتغير  $B$  كما بالشكل رقم (٥). حيث يصل العزم الأقصى إلى الصفر عندما تكون  $B$  مساوية للصفر أو الوحد الصحيح لتساوي كل من  $X_d$  و  $X_q$  عند هاتين القيمتين، وبتزايد العزم الأقصى بين  $B = 0$  و  $B = 1$ . وتحدث أقصى قيمة له عند  $B = 0.13$  بأفعال تأثير التشبع المغناطيسي. وبأخذ تأثير التشبع في الاعتبار فإن أقصى قيمة للعزم الأقصى تتغير من 16.2 Nm إلى 11.2 Nm لهذا المحرك. وتحدث عند  $B = 0.45$  ورغم ذلك فإن الشكل رقم (٥) لا يعتبر كائناً لاختيار أفضل قيمة لعرض الجزء البارز بالنسبة لخطوة القطب  $B$  عند قيمة  $B = 0.45$  مثلاً لأن تغير تيار دخل المحرك مع تغير  $B$  المبين في الشكل رقم (٦) له دخل كبير في اختيار  $B$  حيث نجد أن التيار يتزايد

ومن هذه الحسابات نحصل على خواص الأداء للمحرك عند قيم مختلفة للنسبة  $B$ .

يبين الشكل رقم (٤) تغير كل من  $X_d$  و  $X_q$  مع تغير النسبة  $B$ . وعندما تساوي  $B$  الوحد الصحيح فإن هذا يعني أن العضو الدوار اسطواني بدون قطع أي جزء منه وتكون  $X_d$  مساوية  $X_q$  وبأعلى قيمة لأن مجال العضو الثابت يكون بأقصى قيمة له. انقص المعاوقة المغناطيسية. ويتنقص قيمة  $B$  تنقص كل من  $X_d$  و  $X_q$  كما بالشكل. إلا أن  $X_d$  تكون أقل من  $X_q$  وهو ما يسبب نشأة عزم الممانعة للمغناطيسية التزامني Synchronous Reluctance Torque.

وبالاحتاط أنه ينقص قسيمة  $B$  (نقص عرض الجزء البارز) فإن خطوط المجال المغناطيسي الناتجة من العضو الثابت تتركز في هذا الجزء البارز مما يؤدي إلى نقص عدد هذه الخطوط لسببين. الأول هو أن نقص  $B$  يؤدي إلى زيادة مساحة المنطقة بين الجزئين البارزين مما يزيد من المجال الهارب leakage Flux وبالتالي ينقص المجال الذي يمر خلال العضو الدوار Magnetizing Flux مما يؤدي



شكل رقم (٦): تغير  $X_d, X_q$  مع تغير نسبة عرض الجزء البارز إلى الخطوة القطبية

والعزم الأقصى بأخذ  $g_1 = 0.3$  و  $g_2 = 15 \text{ mm}$  ووضع  $\delta = 45^\circ$  في المعادلات من (١) إلى (٥). يتم حساب قدرة خرج المحرك  $P_{out}$  من العلاقة  $P_{out} = T \omega$ .

- يتم حساب تيار المحور المباشر  $I_d$  من العلاقة  $I_d = (V/X_d) \cos \delta$  وكذلك تيار المحور القصودي  $I_q$  من العلاقة  $I_q = (V/X_d) \sin \delta$ . ويتم حساب التيار الكلي للوجه في العضو الثابت  $I$  من العلاقة  $I = \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$ .

- كما يتم حساب مفاتيح حديد العضو الثابت  $P_f$  من العلاقة  $P_f = 3V^2/R_m$  حيث  $R_m$  هي المقاومة الكافئة لتأثير حديد العضو الثابت للوجه.

ويتم حساب مفاتيح نحاس العضو الثالث  $P_c$  من العلاقة  $P_c = 3I_d^2 r_1$  حيث  $r_1$  هي مقاومة ملفات الوجه في العضو الثابت.

- كما يتم حساب قدرة الدخل للمحرك  $P_{in}$  من العلاقة:

$$P_{in} = P_{out} + P_f + P_c$$

- أما الكفاءة فيتم حسابها من العلاقة:  $\eta = P_{out} / P_{in}$  كما يتم حساب معامل القدرة pf من المعادلة:  $pf = P_{in} / (3VI)$

المباشر D-Axis بأقل قيمة ممكنة بحيث تسمح فقط بدوران العضو الدوار دون احتكاك بالعضو الثابت حتى يمكن زيادة  $X_d$  وبالتالي يزداد عزم المحرك وينخفض التيار وتتمسح خواص المحرك.

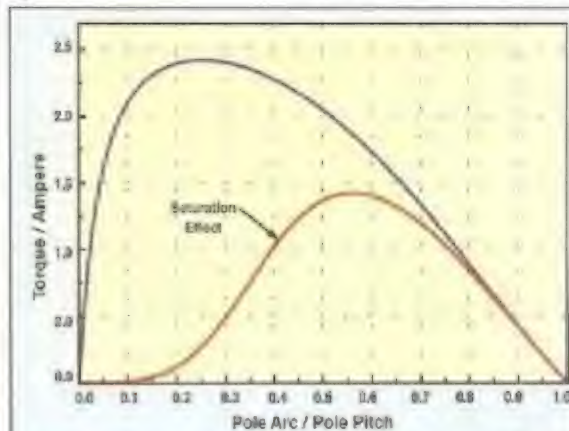
أما القدرة الهوائية  $Q_d$  في المحور المتعامد، فيتم حساب تأثيرها من المعادلات أرقام (٢)، (٣)، (٤)، (٥).

وبأخذ قيمة  $B = 0.6$  و  $g_1 = 0.3$  و  $g_2 = 15 \text{ mm}$  وحساب تأثير تغير  $g_2$  على قيمة العزم الأقصى للمحرك أي عند  $\delta = 45^\circ$  ومن المعادلات السابقة نحصل على الشكل رقم (٦) الذي يتردد فيه العزم الأقصى مع زيادة  $g_2$  بمعدل كبير في البداية ثم يتناقص معدل الزيادة بحيث يمكن الاكتفاء بقيمة في حدود ١٥ مم في هذا المثال لطول الخطوة  $g_2$  الذي هو D-Axis Gap. وتتغير قيمة كل من  $X_d$  و  $X_q$  كما بالشكل رقم (٦).

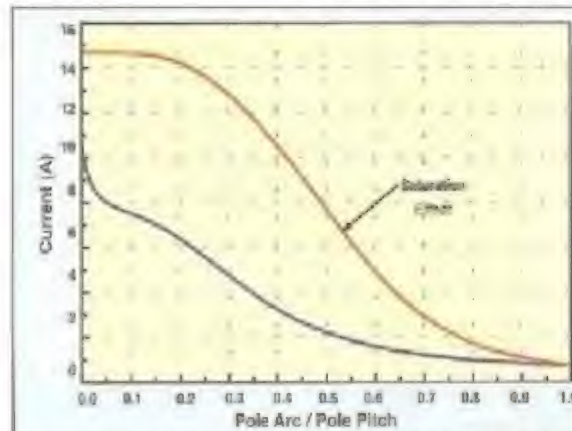
- تأثير عرض الجزء البارز من العضو الدوار:

ليبين هذا التأثير - تغير  $B$  - يجب حساب بقية خواص الأداء كما يلي:

- بعد حساب كل من  $X_d$  و  $X_q$

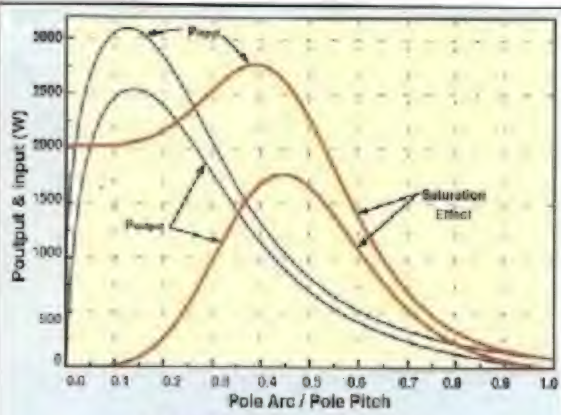


شكل رقم (٧): تغير العزم للأبيرة مع تغير نسبة عرض الجزء البارز إلى الخطوة القطبية

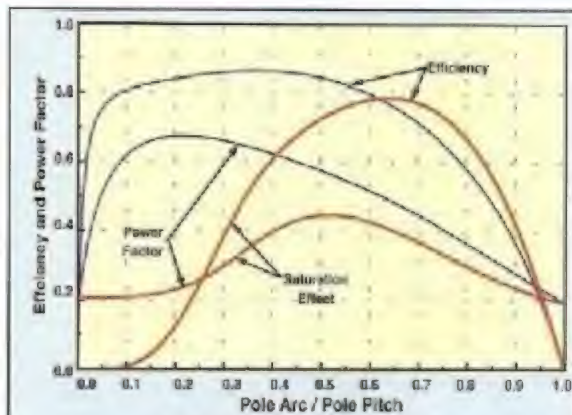


شكل رقم (٨): تغير تيار المحرك مع تغير نسبة عرض الجزء البارز إلى الخطوة القطبية





شكل رقم (٩): تغير قدرتنا المدخل والمخرج مع تغير نسبة عرض الجزء البارز إلى الخطوة القطبية



شكل رقم (٨): تغير الكفاءة ومعامل القدرة مع تغير نسبة عرض الجزء البارز إلى الخطوة القطبية

الحمل.. حيث تصل قدرة خرج هذا المحرك إلى حوالي ١.٥ حصان، وتكون كفاءة هذا المحرك مناسبة لأنها في حدود ٨٠٪ عند الحمل الكامل - شكل رقم (١٤) وذلك بسبب ملائمة مفاقيد العضو الدوار. أما معامل القدرة لهذا المحرك فيكون منخفضاً كما بالشكل حيث تقل أقصى قيمة له عن ٠.٤٥، وهي قيمة منخفضة حتى عن قيمة معامل القدرة في المحركات التناظرية لنفس القدرة من المحركات لهذا. يغير معامل القدرة للتحقق لحركات المصانعة المغناطيسية أحد مبريرها الرئيسية.

#### تحسين خواص المحرك

يعطي الشكل التقليدي المبين للعضو الدوار الموضح في الشكل رقم (١) أداء متواضعاً للمحرك يستدعي التطوير لتحقيق الأهداف التالية:

- ١- زيادة  $X$  وخفض  $Y$  حتى تزداد النسبة بينهما  $(X/Y)$  وبالتالي يزداد العزم الأقصى وقدرة خرج المحرك، ويتم زيادة  $X$  بإنقاص المقاومة المغناطيسية Reluctance في المحور المباشر D-Axis وزيادة مساحة الحديد الذي شر به خطوط المجال المغناطيسي في هذا المحور وكذلك إنقاص طول الثغرة الهوائية بين العضو الدوار والعضو الثابت بقدر الإمكان. أما

التحسين Torque/Ampere، حيث يجب زيادتها بقدر الإمكان لأنها تعني نقص التيار الذي يغطي نفس العزم والذي يؤدي إلى نقص مفاقيد المحرك وتحسين كفاءته، وباستخدام منظومات التحكم الإلكترونية الحديثة.. يمكن زيادة هذه النسبة بتوجيه المجال المغناطيسي، وبين الشكل رقم (١٢) تغير هذه النسبة مع تغير عزم الحمل على المحرك بدون أي عمليات تحكم لتحسينها. حيث تتزايد مع زيادة العزم وتصل إلى أقصى قيمة عند عزم أقل قليلاً من العزم الأقصى، ويجب أن يكون عزم الحمل الكامل للمحرك عند أقصى نسبة للعزم/الأمبير، وهذه النسبة.. حتى القيمة العظمى منها.. تعتبر صغيرة في هذا المحرك بالشكل التقليدي للعضو الدوار بسبب الاستغناء عن ملفات مجال العضو الدوار مما يحتم زيادة نسبة العزم/الأمبير بتحسين شكل العضو الدوار وكذلك بتوجيه المجال المغناطيسي للعضو الثابت.. بحيث تكون زاوية الحمل بمقدار ٤٥ درجة كهربية عند أي قيمة لعزم الحمل.

وبين الشكل رقم (١٢) تغير كل من قدرة دخل وخرج المحرك مع تغير عزم

#### خواص الأداء للمحرك

مع تغير عزم الحمل على المحرك.. تتغير خواص أدائه - الأشكال أرقام من (١٠) إلى (١٤)

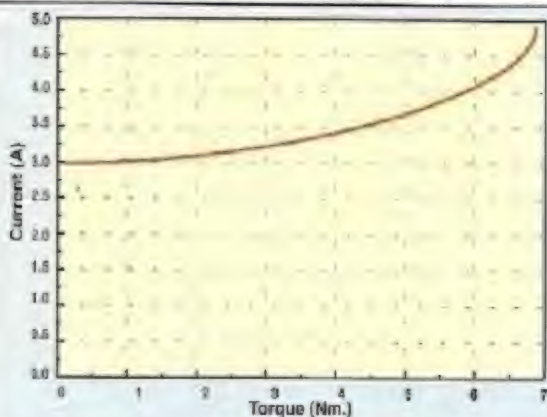
يبين الشكل رقم (١٠) تغير زاوية الحمل مع تغير العزم.. حيث تتزايد الزاوية بمعدل شبه خطي مع العزم المقبرة ثم تتزايد بمعدل كبير قرب العزم الأقصى الذي يحدث عند زاوية ٤٥. أما تغير تيار المحرك مع تغير العزم - شكل رقم (١١) - فيبدأ بقيمة عالية عند اللاحمل مثل المحركات التناظرية.. بينما يمكن التحكم في تيار اللاحمل في المحركات التناظرية بضبط قيمة تيار مجال الأقطاب بحيث يمكن أن يصل تيار المحرك إلى قرب الصفر عند اللاحمل، ويعتبر هذا التيار العالي عند اللاحمل في محركات المصانعة المغناطيسية أحد عيوب هذا النوع من المحركات. ولإنقاص هذا التيار.. يجب إنقاص طول الثغرة الهوائية في المحور المباشر بقدر الإمكان. ومع تزايد عزم الحمل.. يتزايد التيار بمعدل منخفض كما بالشكل.

ومن الخواص الهامة التي شاع استخدامها حديثاً.. نسبة العزم إلى

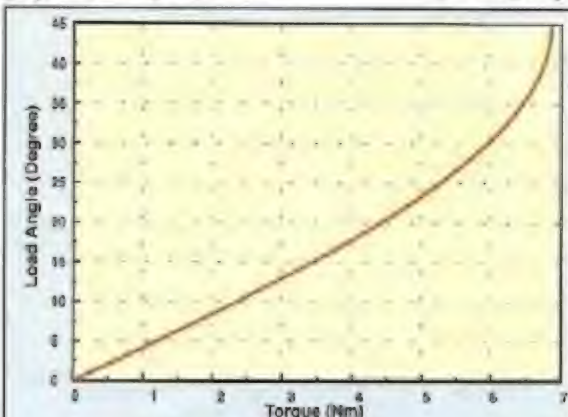
بمعدلات مختلفة كلما نقصت  $B$ .

ولهذا.. فإن الشكل الأمثل لاختيار أفضل قيمة  $B$  يتحدد بأخذ تغير كل من العزم والتيار في الاعتبار.. وذلك من نسبة العزم إلى التيار / Torque / Ampere الموضح في الشكل رقم (٧) حيث تحدث أعلى قيمة بأخذ التشبع في الاعتبار عند  $B = 0.55$  - وإذا أخذت  $B = 0.6$  فإن العزم لكل أمبير لا ينقص كثيراً عن حاله  $B = 0.55$ ، في حين ينقص التيار بنسبة جيدة مما يحسن كفاءة المحرك، ويحافظ أيضاً على قيمة عالية لمعامل القدرة كما هو موضح بالشكل رقم (٨).

وإذا لم يحدث تشبع مغناطيسي للحديد.. ينخفض تيار المحرك وتتزايد عزومه وتكون أفضل قيمة للنسبة  $B$  هي 0.25 - شكل رقم (٧)، إلا أن تحقيق ذلك.. يتطلب زيادة حجم العضو الدوار وبالتالي حجم العضو الثابت مما يؤدي إلى زيادة التكاليف بنسبة لا تعادل الزيادة في عزم المحرك أو نقص تياره، وتتغير قدرة دخل وخرج المحرك مع تغير  $B$  كما بالشكل رقم (٩) حيث يؤدي التشبع إلى نقص هذه القدرات.

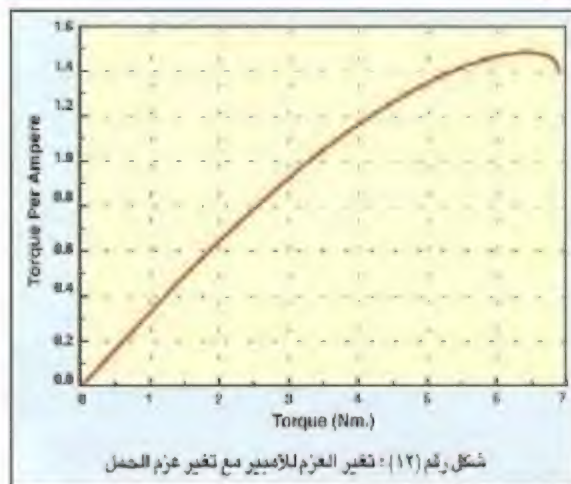
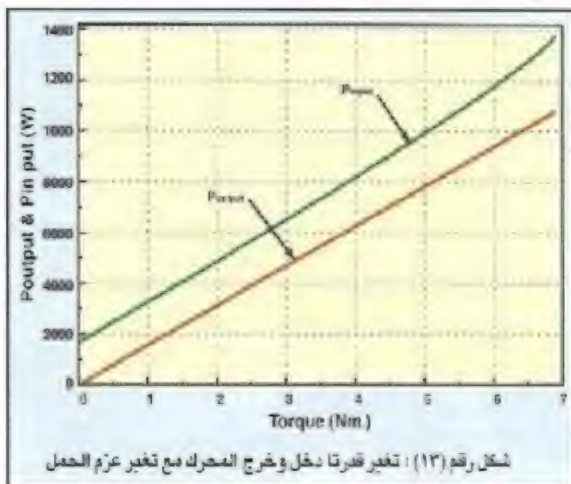


شكل رقم (١١): تغير تيار المحرك مع تغير عزم الحمل

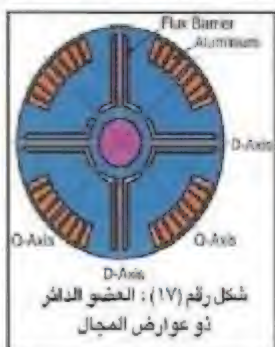
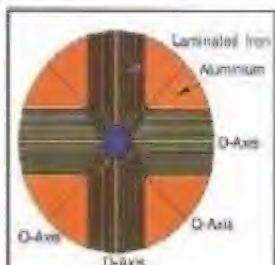
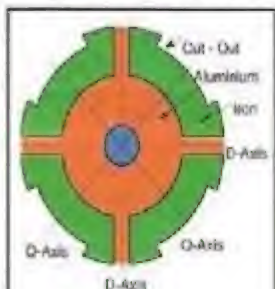


شكل رقم (١٠): تغير زاوية الحمل مع تغير عزم الحمل





السطح الخارجي بحيث يتحرك بين كل مجموعة منها جزء خال من المجاري في المحور المباشر يسمح بزيادة مجال المحور المباشر وبالتالي زيادة  $X_q$  لزيادة عزم المحرك. ويتم حذف الألومنيوم المتصهر في جميع المجاري لتشكيل القفص اللازم لعزم البدء التآثيري.



## ٢- العضو الدوار ذو الرقائق المحورية Axially Laminated Rotor

ويتكون كما بالشكل رقم (١٦) في المحرك ذي الأربعة أقطاب من ٤ مجموعات من رقائق الصلب السليكوني كل منها يتم تشكيلها بحيث توضع موازية لمحور الدوران وبمساحة ٤ قطع من الحديد المصمت. يتم تصنيع العضو الدوار للحرك الممانعة المغناطيسية بالأشكال التالية:

### ١- العضو الدوار المجزأ Segmental Rotor

وهو مكون كما بالشكل رقم (١٥) من ٤ قطع من الحديد المصمت. يفضل أن تكون من رقائق الصلب السليكوني بعدد مساو دائماً لعدد أقطاب العضو الثابت. وتوضع بحيث يكون بينها مسافة في المحور المباشر تساوي بالألمنيوم الذي يقطع المجال المغناطيسي للمحرك العمودي وبالتالي يتقصر  $X_q$  في الوقت الذي يعمل فيه هذا الألمنيوم مع الألومنيوم الداخلي الموجود حول محور الدوران كقفص ينتج العزم التآثيري. ويكون الجزء المقطوع من السطح الخارجي لكل قطعة Cut-out ضرورياً لزيادة طول الثغرة الهوائية في المحرك العمودي ويمكن ملؤه بالألمنيوم لزيادة تأثير القفص والعزم التآثيري.

إنفاص  $X_q$ ، فيتم بزيادة طول الثغرة الهوائية خلال المحور العمودي Q-Axis لإنفاص عدد خطوط المجال المغناطيسي التي يمكن أن تمر خلال هذا المحور. كما يتم خلال هذا المحور - قلع أجزاء داخلية أو عمل عوارض أو حواجز للمجال Flux Barrier فيه.

### ٢- إنفاص تيار المحرك خصوصاً عند اللاحمل: ويتم ذلك بتصنيع العضو الدوار من رقائق الصلب السليكوني ذي النفاذية Permeability المغناطيسية العالية عن الحديد المصمت. الأمر الذي يؤدي أيضاً إلى إنفاص التيار عند جميع الاحمال. وبالتالي تحسين معامل القدرة وزيادة نسبة العزم إلى الأمبر.

٣- زيادة العزم التآثيرية Induction Torques اللازمة لبدء دوران المحرك: ويتم ذلك لأن عزم الممانعة Reluctance Torque المنسوب من المعادلة رقم (١) ينتج فقط عندما يدور المحرك بسرعة الزاوية. أما في السرعات الأقل خلال فترة البدء، فيجب أن يعطى المحرك عزماً تآثيرياً كافياً خصوصاً إذا كان يبدأ دورانه بالحمل وليس بدون حمل. ويتواجد هذا العزم التآثيري بشكل يشبه عزم المحرك التآثيري يعمل قفص





# محرك الحمانعة المغناطيسية الانتقالي

## Switched Reluctance Motor

د. فتحي عبد القادر

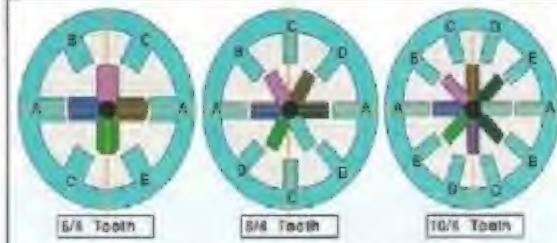
رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شين الكوم

الساقط على الوجه إلى قيامه بتوصيل التيار إلى وجه العضو الثابت الواجب توصيله في هذا الوضع لأسنان العضو الدوار. وتسمى هذه المجموعة سبين موضع العضو الدوار Rotor Encoder.

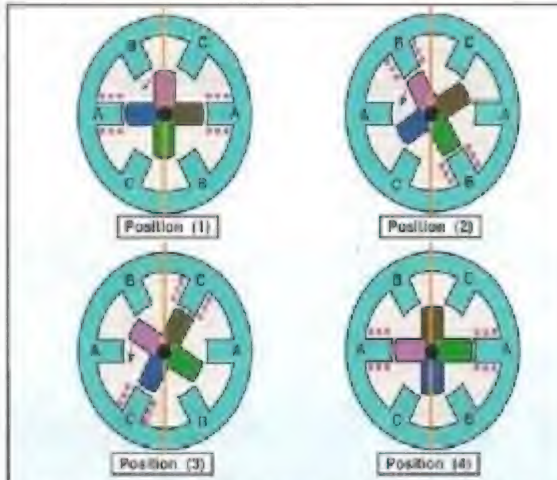
### نظرية عمل المحرك

يتم تغذية هذا المحرك بالتيار المستمر DC. بينما يؤدي محرك الحمانعة المغناطيسية التزامني من مصدر تيار متردد AC. وإذا تم تغذية هذا المحرك الانتقالي بالتيار المتردد يصعب التحكم في قيم تيارات المحرك بالقدرة الذي يعطي عزوفاً عالية واستقراراً في الأداء.

وإذا تم تغذية أحد الأوجه - الوجه A مثلاً - بالتيار المستمر... فإن أقرب ستين من أسنان العضو الدوار ستجذب إلى سبتي الوجه A كما في الوضع الأول بالشكل رقم (٢). وإذا استمر التيار في الوجه A لأي زمن... فإن العضو الدوار سوف يبقى ساكناً في هذا الموضع. ويتم الدوران من فصل التيار عن الوجه A... فينتقل الجال المغناطيسي للعضو الثابت من الوجه A إلى الوجه B في اتجاه دوران عقارب الساعة... إلا أن أقرب ستين في العضو الدوار إلى الوجه B تجعل العضو الدوار يدور في اتجاه عكس عقارب الساعة كما في الوضع الثاني بالشكل رقم (٢). وبهذا... يتحرك العضو الدوار بزاوية انتقال (B) Step Angle يتم حساب قيمتها من العلاقة  $(\theta_p - \theta_r)$  حيث  $\theta_r$  هي زاوية ستة العضو الدوار



شكل رقم (١): الأشكال المختلفة للعضو الثابت والعضو الدوار للمحرك



شكل رقم (٢): دوران العضو الدوار مع تغيير توصيل أوجه العضو الثابت

الخارجي... حيث تثبت لية صغيرة Pulse يتم تغذية أحد الأوجه بها... وبالتالي تختلف بقية خواص الأداء لكل نوع من الآخر.

ومن المكونات المهمة في هذا المحرك... قرص خفيف من البلاستيك أو الألومنيوم يشد على عمود الدوران به فتحات قرب المحيطة

يعتبر هذا المحرك تعديلاً لمحرك الحمانعة المغناطيسية التزامني Syn-chronous Reluctance Motor للحصول على المميزات التالية:

١- إيجسا، عزم بدء دوران دون الحاجة إلى القفص السنجلي Squirrel Cage المستخدم في محرك الحمانعة المغناطيسية التزامني.

٢- إمكانية الدوران بزاوية محددة ثم التوقف... مما يتيح استخدامه في منظومات التحكم الموضعي Position Control التي يكون الهدف منها تحريك الحمل الميكانيكي بزاوية معينة... أو نقل الحمل مسافة محددة كما في منظومات الروبوت.

٣- الحصول على عزم بدء دوران بقيمة عالية يتأخر عزم بدء محرك التوالي Series Motor.

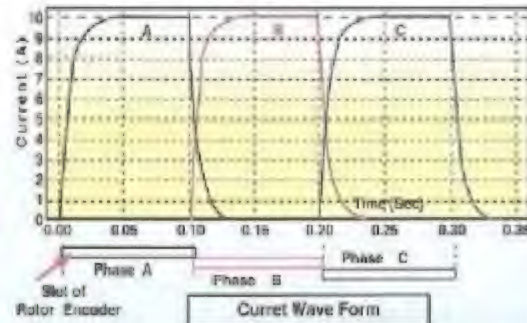
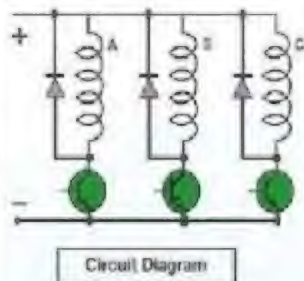
٤- إمكانية الحصول على سرعات عالية جداً مثل محرك التوالي.

٥- إطالة العمر الافتراضي للمحرك أكثر من محرك التوالي... وتقليل الحاجة إلى الصيانة... حيث أنه لا يمشوي على عضو Commutator أو فرش Brushes.

### مكونات المحرك

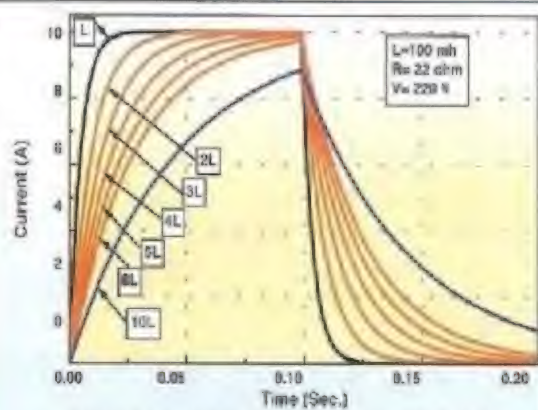
يتكون المحرك من عضو دوار على شكل أقطاب بارزة أو أسنان Teeth من الحديد الصمت أو رقائق الصلب السليكوني... ولا يوضع على هذه الأقطاب أي ملفات والعضو الثابت يتكون من عدد آخر من الأقطاب البارزة أو الأسنان من رقائق الصلب السليكوني... ويوضع على كل قطب ملف... ويسمى كل قطبين متقابلين وجه Phase. ويجب أن يكون عدد أسنان العضو الثابت مختلفاً عن عدد أسنان العضو الدوار حتى يتم دوران المحرك.

وأكثر المحركات شهرة من هذا النوع... ذلك الذي يتكون فيه العضو الثابت من ستة أسنان أي ثلاثة أوجه وعدد أسنان العضو الدوار من أربعة أسنان... ويسمى بالمحرك 6/4 ستة - شكل رقم (١). ويصنع للمحرك أيضاً بعدد 6/8 ستة أو 8/10 ستة كما بالشكل... ولهذه الأسنان أحداً وأشكال أخرى... ويؤدي الاختلاف بين هذه الأنواع إلى اختلاف قيمة زاوية التمرور



شكل رقم (٣): توصيل ملفات المحرك وشكل تيارات الأوجه





شكل رقم (4): تغير التيار عند قيم مختلفة لمعامل الحث الذاتي

والفصل أي عدد النبضات للتيار في الثانية) في تناقص كما بالشكل رقم (٧). ويلاحظ، أن زيادة عدد النبضات يعني زيادة السرعة. لأن المحرك يدور بسرعة تزامنية مع عدد النبضات. لأن البضة الواحدة للدوران العضو الدوار تحتاج إلى ١٢ نبضة في هذا المحرك ٤/٦ سنة. وبالتالي يتم حساب السرعة N باللفة في الدقيقة من عدد النبضات P في الثانية بالملامحة  $N = 60P/12$

ولزيادة عزم المحرك وبالتالي إمكانية زيادة السرعة، يجب زيادة جهد المنيع ذي التيار المستمر. حيث يأخذ التسيار الشكل رقم (٧). ويراعى، أن وصول التيار إلى تيار الحمل الكامل الذي تتحمله ملفات المحرك يعد من زيادة الجهد إلى قيم أعلى.

ولكي يعمل المحرك باستقرار- تقوم كل نبضة بتحريك العضو الدوار بزاوية ٢٠ - يجب أن يتحقق شرطين: أن يكون الجهد المسلط على المحرك كافيًا لإمرار تيار بقيمة تعطي عزمًا كافيًا للتغلب على عزم الحمل

تعديل فترة التوصيل بحيث لا يتواجد التيار الدائري مع تيار التوصيل بقدر الإمكان.

#### الاداء الانتقالي للمحرك

كلما كان التيار كبيراً خلال فترة التوصيل مع ثبات جهد المنيع كان ذلك أفضل. لأنه يعني زيادة عزم المحرك، إلا أن زيادة معامل الحث الذاتي لللفات الوجه -أ- يؤدي إلى خفض التيار كما بالشكل رقم (٤). لهذا، يجب زيادة طول النبضة الهوائية بين العضو الثابت والعضو الدوار وضغط الملفات حول الأسنان بحيث تكون بأقل طول ممكن لنفس عدد الملفات حتى يتفص معامل الحث الذاتي وبالتالي تزداد مساحة مقطع الأسلاك لإنقاص ثابت الزمن

وكما زاد معدل التوصيل والفصل Number of Pulses/Sec. نقص زمن فترة التوصيل وفل التيار كما بالشكل رقم (٥). ويزداد هذا المعدل كلما زادت السرعة خلال فترة بدء الدوران للمحرك. حيث يأخذ تغير التيار في أي وجه الشكل رقم (٦). وتكون القيمة للتوسط لتيار الوجه كلما زاد عدد سرعات التوصيل

فترات القصر.. إلا أنه عند فصل أي وجه وتلاشي التيار تستنتج قوة باعثة كهربية بملفات الوجه تتضاف على جهد المصدر ليظهر جهد عال على الترانزستور يؤدي إلى اختراقه لهذا، يجب إخماد هذا الجهد Volt-age Suppression حيث تستخدم عدة طرق أهمها توصيل موحد Diode على طرفي الوجه في اتجاه لا يسمح بمرور تيار من المصدر الرئيسي خلال الترانزستور حتى لا يحدث قصور على كل من الوجه والمصدر. ويتم التوصيل كما بالشكل رقم (٣). ويبر التيار بالوجه عند التوصيل. حيث يتزايد بالتدريج مع الزمن نظراً لوجود حث ذاتي  $Ln$  ductance (L) التيار من العلاقة:

$$i = (V/R) (1 - e^{-Rt/L})$$

حيث V جهد المنيع - R مقاومة الوجه -  $\tau$  ثابت الزمن  $\tau = L/R$  - t الزمن.

وعند الفصل.. تتسبب الطاقة المخزنة في ملفات الوجه في مرور تيار في نفس اتجاه التيار خلال فترة التوصيل. حيث يمر هذا التيار من خلال الموحد بشكل تيار دائري Cir-ulating Current ويتم حساب هذا التيار من العلاقة:

$$I = (V/R) (e^{-Rt/L})$$

ويكون  $t$  هو زمن فترة التوصيل، وإذا كان التيار في فترة التوصيل قد وصل إلى قيمة أقل من  $(V/R)$ ، فيستبدل بالجزء  $(V/R)$  في العلاقة السابقة.

ويلاحظ، أن هذا التسيار الدائري يحدث عزمًا سالبًا ينقص العزم الكلي لأنه يتواجد مع تيار التوصيل للوجه التالي لهذا، يجب إنقاص هذا التيار الدائري بقدر الإمكان مع المصاطفة على الجهد على أطراف الترانزستور بقيمة منخفضة يتحملها كما يجب

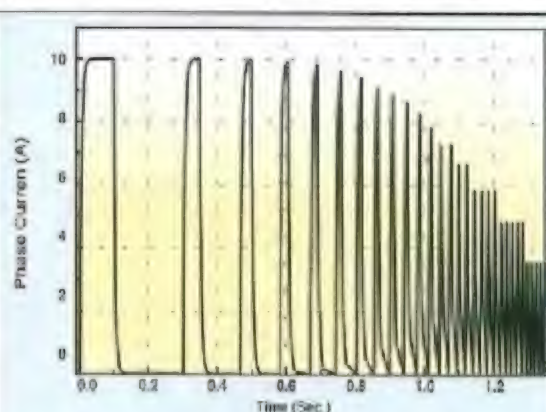
وتساوي  $(S_0 = 360/S)$ ، وتكون  $S_0$  في عدد أسنان العضو الدوار. وكذلك، فإن  $\theta$  هي زاوية سنة العضو الثابت وتساوي  $(360/S_0)$ ، حيث  $S_0$  هي عدد أسنان العضو الثابت.

ولاستمرار دوران المحرك بزاوية  $\theta$  أخرى، يتم توصيل الوجه C مع فصل الوجه B عن المصدر. فيأخذ العضو الدوار الوضع الثالث في الشكل رقم (٢)، ثم يتم توصيل الوجه A مع فصل الوجه C فيأخذ العضو الدوار الوضع الرابع في الشكل رقم (٣)، وهكذا. يكون العضو الدوار قد تم دورته بزاوية  $90^\circ$  بعد ثلاث مرات يتم فيها تغيير التوصيل. حيث يدور هذا المحرك في كل مرة زاوية  $90^\circ$  وهي الزاوية  $\theta$ . وعلى ذلك، تكون عدد مرات التوصيل (عدد النبضات Pulses اللازمة لدوران العضو الدوار لفة واحدة) هي  $(360/\theta)$  وتساوي ١٢ نبضة لهذا المحرك  $90^\circ/6$  سنة.

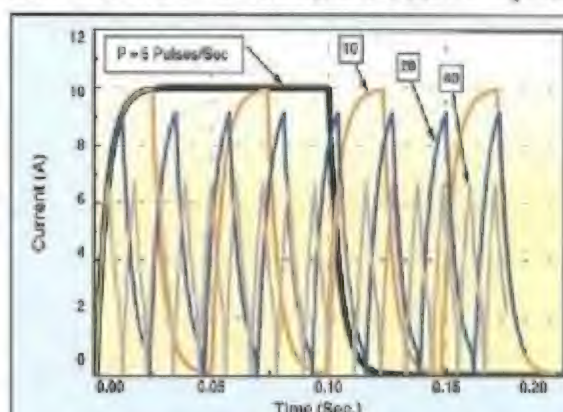
ويلاحظ، أنه بعد تبديل التوصيل من الوجه A إلى الوجه B ثم الوجه C. يتكرر ذلك إلى الوجه A ثم B ثم C وهكذا. ولا داعي لعكس التيار مثلاً في الوجه A بعد الوجه C لأن ذلك من شأنه عكس القطبية من الشمالي N إلى الجنوبي S والعكس.

ولما كان العضو الدوار غير مغنطاً، فإن قوة الجذب سوف تكون واحدة سواء كان القطب شمالياً أو جنوبياً. ولكن عكس التيار هذا، يتم إذا كان العضو الدوار مغنطاً من دائم Permanent Magnet في أنواع أخرى من المحركات وليس في هذا المحرك.

ويتم تبديل توصيل التسيار بواسطة Rotor Encoder يقوم بتوصيل وفصل الترانزستورات المبينة في الشكل رقم (٢) عن طريق

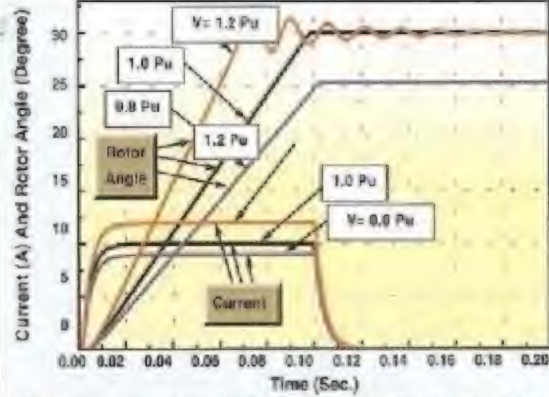


شكل رقم (6): شكل موجة التيار خلال فترة بدء الدوران



شكل رقم (5): شكل موجة التيار مع تغير عدد النبضات في الثانية





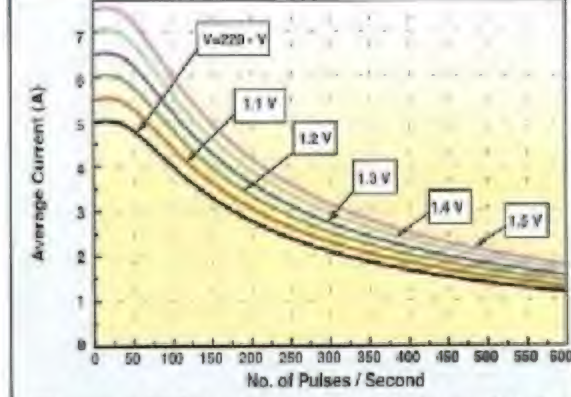
شكل رقم (٨): تغير التيار وزاوية العضو الدوار مع الزمن عند جهود مختلفة

بالنسبة للتيار، كما يجب ملاحظة، أن المحرك أثناء الدوران يتم تبديل التوصيل فيه من وجه إلى آخر. وعندما يكون المحرك بدون حمل، فإن زاوية سعة العضو الدائر بالنسبة لسعة العضو الثابت في بدء التوصيل تكون مساوية  $30^\circ$  في هذا المحرك  $4/6$  سعة - الخط الرأسي في الشكل رقم (٩). ومع تحميل المحرك، تزداد هذه الزاوية من  $30^\circ$  بمقدار زاوية الحمل Load Angle التي تزداد بزيادة عزم الحمل. ولهذا، لا يمكن تحميل المحرك خلال الدوران بقيمة العزم الأقصى، حيث يقل عزم الحمل عن ذلك.

#### خواص الأداء للمحرك

لحساب خواص الأداء للمحرك، نجد أن العزم  $T$  في أي لحظة يتم حسابه من العلاقة  $T = 0.5 I^2 dL/d\theta$  (٨)، حيث  $I$  تيار المحرك في اللحظة المطلوب حساب العزم عندها ( $dL/d\theta$ ) معدل تغير معامل الحث الذاتي للوجه بالنسبة لتغير الزاوية بين سعة العضو الدائر وسعة الوجه في العضو الثابت. ونلاحظ، أن كل

العضو الدوار، ويكون العزم الأقصى عند زاوية انحناف أكبر من نصف الزاوية  $45^\circ$  في هذا المحرك  $6/6$  سعة. وتكون زاوية أقصى عزم حوالي  $68^\circ$  لهذا المحرك بسبب تغير عدد خطوط المجال المغناطيسي الناتج من العضو الثابت بطريقة تغير منتظمة مع تغير زاوية الانحناف. وكلما زادت الزاوية عن زاوية أقصى عزم، يجب تحميل عزم أقل من العزم الأقصى كما بالشكل رقم (٩). ويوصل الزاوية إلى  $45^\circ$  يكون العزم (صفر). لأن سعة وجه العضو الثابت تكون في منتصف المسافة بين سنتي العضو الدوار مما يجعل قوة الجذب متساوية لستي العضو الدوار الأمر الذي يحول دون تحرك العضو الدائر بأي زاوية. ومع زيادة الجهد المسلط على المحرك، تزداد العزم كما بالشكل رقم (٩). (لا أننا نلاحظ تناقص الزيادة في العزم ورغم الزيادة المنتظمة في الجهد وبالتالي في تيار العضو الثابت، ويرجع ذلك إلى التشبع الناتج في الحديد والذي يؤدي إلى نقص معدل تغير المجال



شكل رقم (٧): تغير تيار المحرك مع زيادة عدد النبضات في الثانية عند جهود مختلفة

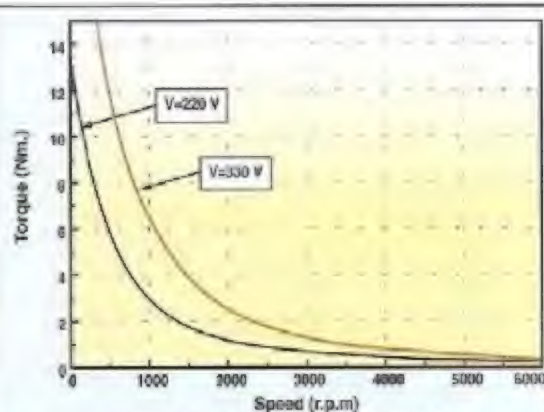
فترة التوصيل لزيادة العزم. وسوف يؤدي ذلك إلى خسائر تذبذبات للمحرك حول الزاوية  $30^\circ$  كما بالشكل رقم (٨).

#### العزم الاستاتيكي للمحرك Static Torque

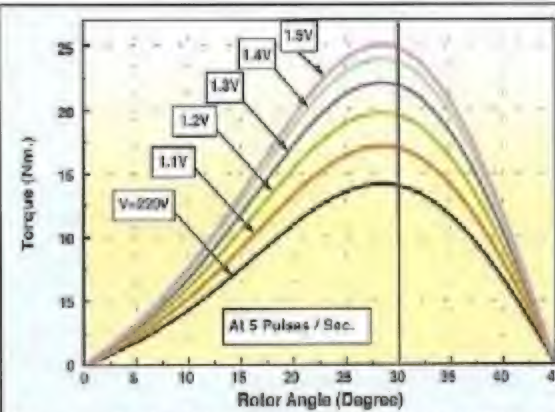
يمكن بسهولة قياس العزم الاستاتيكي للمحرك، حيث يترك المحرك ساكناً ويتم توصيل وجه واحد إلى المصدر ذي التيار المستمر ويبقى التيار ماراً بالوجه حيث يصل إلى حالة الاستقرار وتكون قيمة التيار  $I = V/R$ . ثم نقوم بتعليق وزن صغير في طرف سلك سرن أو خيط مناسب ويتم لف الطرف الثاني للخيط حول عمود دوران المحرك أو حول ملارة ذات قطر مناسب على العمود. ومع هذا التعليق، يتحرك العضو الدوار زاوية ضد قوة الجذب المغناطيسي الناتج من تيار العضو الثابت، ونقاس هذه الزاوية. ومن ثم يتم حساب العزم من قيمة الوزن ونصف قطر الملارة. وكلما زادت قيمة الوزن المعلق - أي زاد العزم - تزداد زاوية انحناف

وعزم الاحتكاك في المحرك. أن يبقى التيار زمناً كافياً لتحرك العضو الدوار زاوية  $30^\circ$  كاملة. لأنه إذا كان الجهد منخفضاً كما بالشكل رقم (٨)، أي بقيمة ( $V = 0.8 \text{ pu}$ ) مثلاً، فإن التيار سوف يكون منخفضاً كما بالشكل.

وخلال زمن توصيل مقداره  $0.1 \text{ ms}$ ، سوف يتحرك العضو الدوار زاوية  $30^\circ$  فقط كما بالشكل. وفي النبضة التالية سوف يتحرك زاوية أقل من  $30^\circ$  لأن العزم سوف ينخفض لزيادة الزاوية عند التوصيل عن  $30^\circ$ . وفي النبضات التالية يتناقص العزم حتى يصل إلى الصفر عندما تكون الزاوية  $45^\circ$  وبالتالي يتوقف الدوران. ويقال أن المحرك خرج عن تزامنه. أما إذا كان الجهد أكبر من الحالة السابقة وبقيمة  $V = 1 \text{ pu}$  فإن التيار يكون كافياً بالكاف للوصول إلى زاوية تحرك  $30^\circ$  وإذا زاد الجهد عن ذلك ( $V = 1.2 \text{ pu}$ ) فإن العضو الدوار سوف يتحرك بالزاوية  $30^\circ$  في أقل من زمن

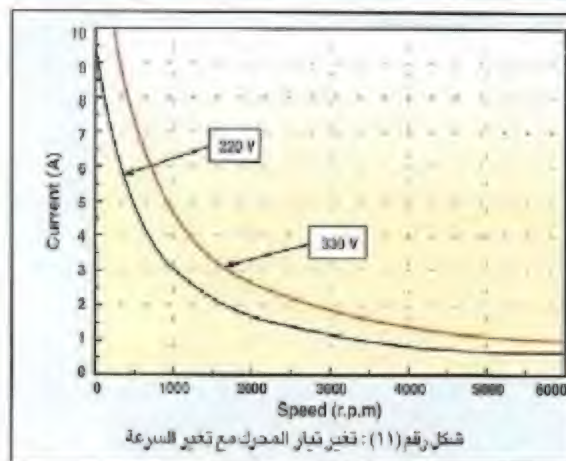
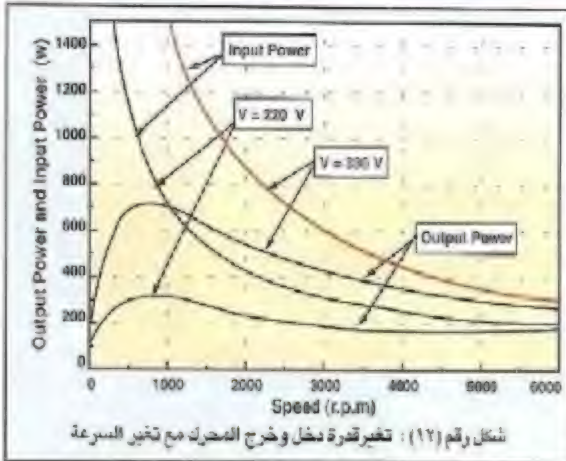


شكل رقم (١٠): تغير عزم المحرك مع تغير السرعة



شكل رقم (٩): تغير العزم الاستاتيكي للمحرك مع تغير زاوية العضو الدوار عند جهود مختلفة





٢٢٠ في مع نظيره عند جهد ٢٢٠. وعندما يعمل المحرك مع الحمل بحالة استقرار Steady State عند سرعة ٦٠٠٠ لفة/دقيقة. يمكن حساب زمن وصول المحرك من سرعة الصفر إلى هذه السرعة وهو ما يسمى بزمن بدء الدوران. ويتم حساب هذا الزمن  $t$  بالثانية من العلاقة:

$$t = J / \frac{dw}{dt}(T - T_1)$$

حيث:  $J$  معامل القصور الذاتي للأجزاء المتحركة -  $T$  عزم المحرك -  $T_1$  عزم الحمل -  $\frac{dw}{dt} = 2\pi \frac{dn}{dt} / 60$  وتكون  $dn$  هي الجزء الصغير من تغير السرعة - حيث يتم إجراء هذا التكامل رقمياً على الحاسب الآلي. وتنتج علاقة تغير السرعة مع زمن بدء الدوران كما بالشكل رقم (١٤) والذي يبين تزايد السرعة بمعدل كبير عن المحركات التقليدية. وتصل السرعة إلى قيمتها النهائية في زمن أقل كلما زاد جهد التشغيل بسبب زيادة عزم المحرك كما بالشكل.

في العدد القادم:

المحركات الخطوية

الداخلي للمحرك كما بالشكل رقم (١١). حيث يتناقص التيار بمعدل كبير مع زيادة السرعة. مما يمكننا من زيادة الجهد بقيم عالية إلى القيمة التي توصلنا إلى أقصى تيار يتحمله المحرك. ولا خوف من زيادة التشبع بزيادة الجهد لأن التشبع يزداد بزيادة التيار وليس بزيادة الجهد.

أما تغير كل من قدرة دخل وخروج المحرك مع تغير السرعة. فإنها كما بالشكل رقم (١٢). حيث تكون قدرة الدخل عالية بدرجة كبيرة عن المحركات التقليدية عند السرعات المنخفضة بسبب زيادة التيار. ثم تتناقص قدرة الدخل مع تزايد قدرة الخرج بزيادة السرعة لتقترب قدرة الخرج من قدرة الدخل عند السرعات العالية. ولهذا. يفضل أن يعمل هذا المحرك باستقرار عند السرعات العالية. حتي تكون كفاءة المحرك عالية. وبشرايط جهد المحرك تتزايد قدرة الخرج كما بالشكل.

وتشبه كفاءة المحرك مع تغير السرعة كما بالشكل رقم (١٣). حيث تستمر في الزيادة كلما زادت السرعة. وينطبق منحنى الكفاءة عند جهد

أما التغير  $(dl/d\theta)$  خلال تغير الزاوية من الصفر إلى  $\pi/2$ . فيتم حساب سرعة التغير  $dl$  من العلاقة التقريبية:

$$L(\theta) = L_0 + (L_1 - L_0) \cos(4\theta)$$

وبتفاضل هذه العلاقة بالنسبة للزاوية  $\theta$  نحصل على:

$$dL/d\theta = -4(L_1 - L_0) \sin(4\theta)$$

وبإفصال الإشارة السالبة. يتم حساب عزم المحرك  $T$  من العلاقة:

$$T = 2P(L_1 - L_0) \sin(4\theta)$$

وحيث أن التيار اللحظي يتغير مع تغير السرعة كما بالشكل رقم (١١). فإن العزم اللحظي يأخذ شكلاً قريباً من شكل التيار بثبات الزاوية  $\theta$ . وبأخذ  $\theta = \pi/4$ . نحصل على العزم الأقصى اللحظي ومنه يتم حساب القيمة المتوسطة للعزم الأقصى مع تغير السرعة والتي تكون كما بالشكل رقم (١٠) عند جهدين ٢٢٠، ٣٣٠ في. حيث يتناقص هذا العزم مع زيادة السرعة بشكل يشبه تغير عزم محركات التوالي Series Motors

وخلال هذا التغير في السرعة. تتغير القيمة المتوسطة للتيار الكلي

قيمة لحظية للتيار  $i$  تعطي عزمًا أقصى عند  $\theta = \pi/4$ . أما معامل الحث الذاتي للوجه  $(L)$  فإنه يتغير بتغير الزاوية بين سنة العضو الدوار وسنة الوجه  $\theta$ . حيث تكون  $L$  بأقصى قيمة لها  $\theta = 0$ . بينما تكون بأقل قيمة لها عندما تكون  $\theta = \pi/2$  في هذا المحرك  $(\pi/6)$  سنة. ويمكن حساب قيمة كل من  $L_0$  و  $L_1$  بطريقة مشابهة المستخدمة مع محرك المسامحة المغناطيسية التزامني. حيث نجد أن  $L_1 = L_0 + C_0$ . وتكون  $L_1$  هي معامل الحث الذاتي للوجه عندما يكون العضو الدوار اسطوانتي الشكل. وتكون  $L_0$  أكبر من  $L_1$  ويتم حساب المعامل  $C_0$  من العلاقة:

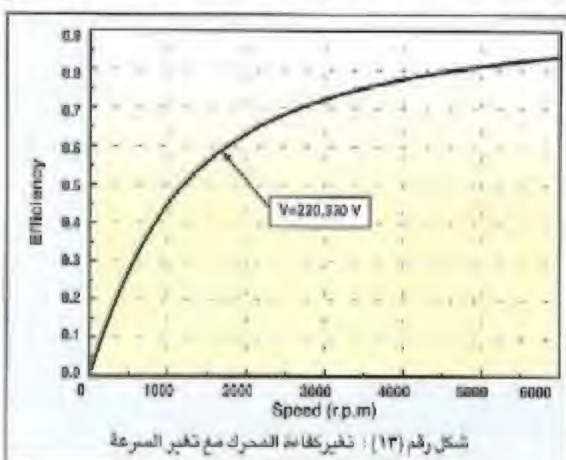
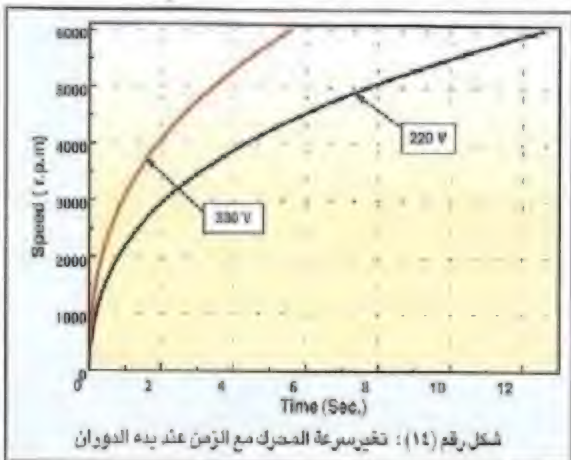
$$C_0 = a + (1-a) \left\{ \beta + \left( \frac{\sin(\pi\beta)}{\pi} \right) \right\}$$

حيث:  $a$  نسبة أصغر طول للثغرة الهوائية إلى أكبر طول -  $\beta$  نسبة طول قوس سنة العضو الدوار إلى طول خطوة سنة العضو الدوار.

كما يتم حساب  $L_0$  من العلاقة  $L_0 = L_1 - C_0$

حيث:

$$C_0 = a + (1-a) \left\{ \beta - \left( \frac{\sin(\pi\beta)}{\pi} \right) \right\}$$





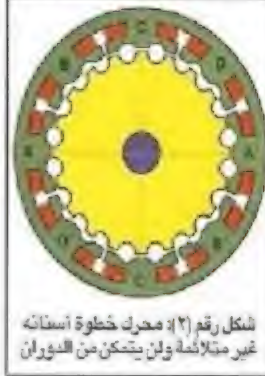
# المحركات الخطوية Stepping Motors

د. فتحي عبد القادر

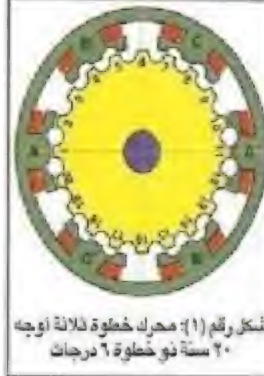
رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شبن الكوم



شكل رقم (٣): محرك خطوة أربعة أوجه  
١٥ سنة ذو خطوة ٦ درجات



شكل رقم (٢): محرك خطوة أسنانه  
غير متلائمة ولن يتمكن من الدوران



شكل رقم (١): محرك خطوة ثلاثة أوجه  
٢٠ سنة ذو خطوة ٦ درجات

تتكرر زاوية الخطوة بتكرار تبديل التوصيل.

ويتم حساب زاوية الخطوة للمحرك الشكل رقم (١) بحساب زاوية الوجه B بالنسبة للوجه A والتي تكون  $60^\circ$  ثم حساب الزاوية بين سنة العضو A وسنة العضو B المقابلة لمتوسط الوجه A وسنة العضو الدوار رقم ٤ التي سوف تتحرك لتكون في منتصف الوجه B وهذه الزاوية بين السنة ١ والسنة ٤ تساوي ثلاث زوايا سنة، وحيث أن زاوية السنة تساوي  $360^\circ$  مقسومة على عدد أسنان العضو الدوار والتي تساوي ٢٠ سنة في هذا الشكل، فإن زاوية السنة تكون  $18^\circ$  وبالتالي تكون الزاوية بين السنتين ١ و ٤ مقدارها  $54^\circ$  وبذلك تكون زاوية الخطوة لهذا المحرك هي  $60^\circ - 54^\circ = 6^\circ$  بينما كانت زاوية هذه الخطوة في محرك الممانعة الانتقالي  $6^\circ$  سنة مقدارها  $4^\circ$ .

ومن هذا، تستنتج العلاقة الرياضية العامة لحساب زاوية الخطوة لهذا النوع من المحركات الخطوية، من زاوية سنة العضو الدوار  $\alpha$  وعدد الأوجه  $m$  حيث نجد

لـ

مع ملف القطب المقابل ليشكل كل قطبين متقابلين وجهاً واحداً كما في الشكل رقم (١).

ويراوح عدد أوجه العضو الثابت بين وجهين إلى حوالي خمسة أوجه، وعند تغذية الوجه الأول Phase A بالتيار المستمر، ينشأ مجال مغناطيسي يجذب أسنان العضو الدوار لتصبح مقابلة لأسنان الوجه A كما بالشكل. أما بقية أسنان العضو الدوار فإنها لا تكون مقابلة لأسنان أي من الوجهين الآخرين A, B, C. ويلاحظ أن خطوة أسنان القطب تساوي خطوة أسنان العضو الدوار مما يجعل ثلاثة من أسنان القطب تطابق مع ثلاثة من أسنان العضو الدوار حتى يزداد العزم عن حالة تطبيق سنة واحدة لكل من القطب والعضو الدوار. وعند تبديل التغذية بفصل الوجه A وتوصيل الوجه B لمصدر التيار المستمر، يجذب مجال الوجه B أقرب أسنان العضو الدوار فيدور في اتجاه عقارب الساعة بزاوية خطوة واحدة. ويتم بعد ذلك تبديل التوصيل من الوجه B إلى الوجه C ويدور العضو الدوار زاوية خطوة ثانية. وهكذا.

والعضو الدوار عند تغذية العضو الثابت بالتيار المستمر. بينما نقل قوة الجذب بين باقي أسنان العضو الثابت والعضو الدوار. وعند نقل تغذية العضو الثابت إلى ملف آخر، تحدث قوة الجذب بين سنتين أخريين مما يؤدي إلى دوران العضو الدوار زاوية خطوة واحدة.

وتتعدد أنواع وأشكال هذا المحرك تعدداً كبيراً للحصول على زاوية خطوة تختلف من شكل إلى آخر. وكذلك لزيادة عزم المحرك وتبسيط دوائر التحكم في التشغيل، ومن أهم هذه الأنواع

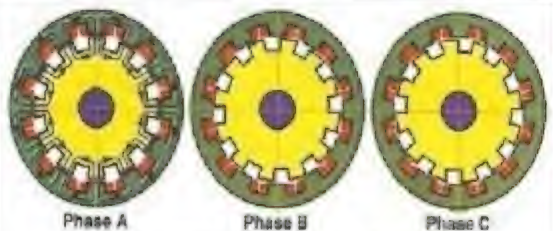
## ١ - محرك الممانعة المغناطيسية المتغيرة Variable Reluctance Motor

ويتكون من عدد محدود من الأقطاب البارزة في العضو الثابت إلا أن حذاء كل قطب Pole Shoe يتكون من عدد من الأسنان بحيث تعطي مجموع أسنان هذه الأقطاب جملة أسنان العضو الثابت التي تختلف في العدد عن مجموع أسنان العضو الدوار الذي يتشكل من الحديد بدون أية طفات. ويوضع على كل قلب في العضو الثابت ملف يوصل بالتوالي

يستخدم هذا النوع من المحركات في التحكم الموضعي Position Control سواء كان التحكم بزاوية واحدة صغيرة للصل أو عدة زوايا، أو مسافة واحدة صغيرة أو عدة مسافات متكررة. كما في آلات الطباعة للحاسب الآلي التي تحتاج لتحريك الورقة مسافة سطر رأسياً للانتقال إلى السطر التالي للكتابة وهكذا. كما تحتاج رأس الكتابة إلى تحريكها أفقياً مسافة حرف واحد أو أكثر. ويستخدم هذا المحرك أيضاً في الإنسان الآلي Robot وكثير من المعدات التي تتطلب تحكماً موضعياً. حيث يتم تغذية المحرك بتغذية واحدة عبارة عن تيار مستمر لزمان بسيط، تؤدي إلى دوران العضو الدوار للمحرك زاوية صغيرة نقل كثيراً عن زاوية محرك الممانعة المغناطيسية الانتقالي Switched Reluctance Motor. وعندئذ يتم التغذية بعدد معين من النبضات. فإن الدوران يتم بنقص العدد من الزوايا المتساوية التي يسعى كل منها بزاوية الخطوة Stop Angle. مع ملاحظة أن أية نبضة تغذي أحد ملفات العضو الثابت، والنبضة التالية تغذي ملفاً آخر، كما كان يحدث في محرك الممانعة المغناطيسية الانتقالي.

## مكونات المحرك

يشبه هذا المحرك في تكوينه محرك الممانعة المغناطيسية الانتقالي، إلا أنه يختلف في عدد وشكل أسنان كل من العضو الثابت والعضو الدوار بحيث يزداد عدد الأسنان لإنقاص زاوية الخطوة. وتعتمد الفكرة الأساسية لهذا المحرك على إحداث قوة جذب بين سنتين متقابلتين من كل من العضو الثابت



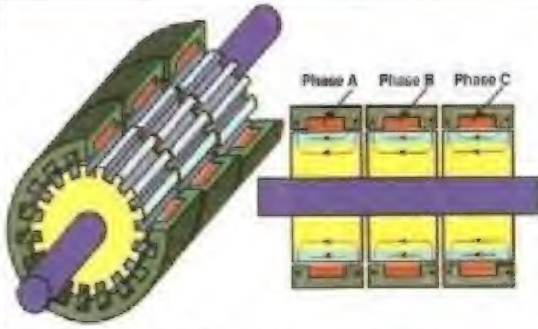
شكل رقم (٤): محرك خطوة من ثلاثة أجزاء

١٢ سنة لكل من العضو الثابت والدوار - مجاله قطري



شكل رقم (٥): محرك خطوة ذو الممانعة المتغيرة مكون من جزئين





شكل رقم (٦): محرك خطوة من ثلاثة أجزاء  
١٢ سنة لكل من العضوين الثابت والدوار - مجاله محوري

ثلاثة. وفي هذه الحالة ينحرف كل عضو دوار عن الآخر بزاوية تساوي زاوية السنة مقسومة على عدد الأوجه - وزاوية الانحراف هذه تساوي زاوية الخطوة. وكلما زاد عدد الأوجه نقصت زاوية الخطوة. حيث يتم حسابها في هذا النوع من العلاقة  $(\theta = 360 / 2m)$ .

ويتم دوران العضو الدوار في هذا النوع بتغذية الوجه A من مصدر التيار المستمر ثم تبديل التغذية بالوجه B ثم بالوجه C ثم بالوجه A مرة أخرى وهكذا. تتعاقب تغذية جزء ثم الذي يليه ولهذا يسمى هذا المحرك «بالتعاقب» Cascade. وتكون خطوط مجاله المغناطيسي في الاتجاه القطري Radial Flux كما بالشكل رقم (٥).

د- النوع الرابع: يسميز عن النوع الثالث في أنه تم استبدال عدد الملفات الكثيرة لكل وجه (١٢ ملف) بملف واحد يكون محوره في اتجاه محور دوران المحرك ويعطى خطوط مجاله مغناطيسي في اتجاه محور الدوران كما بالشكل رقم (٦). ولهذا فإنه يسمى «بالمحرك ذي المجال Axial Flux المغناطيسي للمحور» ويتم تشغيل هذا النوع بنفس الأسلوب النوع الثالث.

وعندما يراه أن يكون العضو الدوار ذا وزن خفيف حتى يقل عزم

الثابت وتوصل جميع ملفات العضو الثابت معاً بالتوالي أو بالتوازي حسب جهد وتيار مصدر التغذية. وشكل جميع هذه الملفات وجهاً واحداً مثل الوجه A مع ملاحظة أن كل سنة مثل قطباً يختلف في قطبيته عن السنة المجاورة، ويكون عدد خطوط المجال المغناطيسي الخارج من جميع هذه الأقطاب الاثنى عشر متشاكلاً لكل قطب مع الآخر. ولا يجب هنا عمل التلافات بطريقة المحركات التقليدية (التأثيرية مثلاً) بحيث تكون نصف عدد الأسنان اليمنى مثلاً قطباً شمالياً والنصف الأيسر قطباً جنوبياً. لأنه في هذه الحالة سوف تكون كثافة المجال المغناطيسي في منتصف القطب عالية وتقل في أطراف كل قطب (طبقاً للتوزيع الجيني لكثافة المجال) الأمر الذي ينقص كثيراً من عزم المحرك.

وفي هذا النوع.. تم زيادة العزم لأنه عند توصيل الوجه A تحدث قوة الجذب بين عدد الأسنان جميعها الوجه - ١٢ سنة - وليس بين جزء فقط من الأسنان كما كان في الأنواع السابقة. والوجهان الثاني B والثالث C هما تكرار للوجه الأول A بكل أجزائه. إلا أن العضو الدوار للوجه B ينحرف عن العضو الدوار للوجه A. كما أن الوجه C ينحرف عن الوجه B بزاوية تعادل ثلث زاوية السنة عندما يكون عدد الأوجه ثلاثة. ويمكن أن يكون عدد الأوجه أكثر من

من جزأين متكررين بحيث تكون أقطاب الجزأين على نفس المحور التوازي لمحور غامود الدوران. بينما ينحرف العضو الدوار للجزء الثاني عن العضو الدوار للجزء الأول بزاوية تساوي نصف زاوية خطوة السنة كما بالشكل رقم (٤). وتكون زاوية الخطوة لهذا النوع هي  $\theta = 360 / 2m$ . ويتم تغذية الوجه A للجزء الأول مع الوجه C للجزء الثاني ثم الوجه B للجزء الأول مع الوجه D للجزء الثاني وهكذا.

ب- النوع الثاني: يستخدم فيه التكرار لانخفاض زاوية الخطوة في أحوال كثيرة تتطلب ذلك. فإذا أخذنا المحرك الموضح في الشكل رقم (١) والذي كانت زاوية خطوته ٦. فإنه يمكننا الحصول على زاوية خطوة بثلث قيمة هذه الزاوية. أي بمقدار درجتين فقط إذا تم تكرار أجزاء المحرك لتصبح ثلاثة أجزاء بحيث ينحرف العضو الدوار للجزء الثاني بزاوية درجتين عن العضو الدوار للجزء الأول. وينحرف العضو الدوار للجزء الثالث بزاوية درجتين عن العضو الدوار للجزء الثاني. إلا أن التغذية هنا تتم للوجه A في الجزء الأول ثم تستبدل للوجه A في الجزء الثاني ثم تستبدل للوجه A في الجزء الثالث. ثم تكرر في باقي الأوجه مع الأجزاء الثلاثة. وفي كل مرة يتحرك العضو الدوار بزاوية درجتين. ولهذا النوع، يتم حساب زاوية الخطوة عن العلاقة  $(\theta = 360 / m)$  حيث m عدد الأوجه n - عدد مرات التكرار - وفي هذا النوع لا يشترط أن تتساوى مرات التكرار بعدد الأوجه.

ج- النوع الثالث: وهو ذو عزم أكبر بأضعاف مضاعفة من الأنواع السابقة. وفيه يتكون كل جزء من عدد متساو من الأسنان في كل من العضوين الثابت والدوار كما في الشكل رقم (٥) الذي تكون فيه عدد الأسنان ١٢ سنة لكل من العضو الثابت والعضو الدوار. ويوضع ملف حول كل سنة من الأسنان العضو



أن  $(\theta = 360 / m)$ .

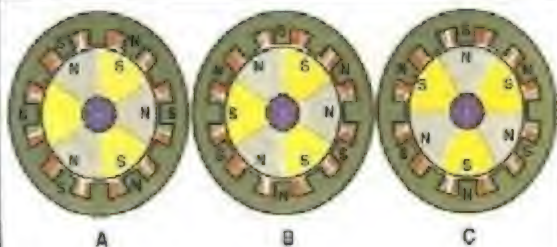
ويلاحظ أن عدد أسنان العضو الدوار يجب أن يتناسب وعدد أسنان وعدد أوجه العضو الثابت بحيث يعطى زاوية الخطوة التي نحتاجها. فإذا وضعنا نفس العضو الدوار ٢٠ سنة في عضو ثابت أربعة أوجه كما بالشكل رقم (٢). فإن العضو الدوار لن يدور في أي اتجاه لأن تغذية الوجه A تجعل أسنان العضو الدوار مقابلة تماماً لأسنان الوجه A كما بالشكل. ويتبدل التوصيل إلى الوجه B. تكون أسنان العضو الدوار مقابلة لمخالفات المسافة بين أسنان الوجه B وهذا الوضع لن يسبب أي حركة للعضو الدوار وبالتالي فإن المحرك لن يتمكن من الدوران بأي خطوة عند تبديل التوصيل إلى أي من الأوجه الأربعة.

ويمكن جعل كل قطب يمثل وجهاً كما بالشكل رقم (٣) المكون من أربعة أقطاب أو أربعة أوجه والعضو الدوار مكون من ١٥ سنة. وعند تغذية الوجه A تنطبق ثلاثة من أسنان العضو الدوار مع ثلاثة من أسنان وجه العضو الثابت كما بالشكل ولا تنطبق بقية أسنان العضو الدوار مع أسنان أي وجه آخر في هذا الوضع. وعند تغذية الوجه B بدلاً من الوجه A. يتحرك العضو الدوار في اتجاه ضد عقارب الساعة بزاوية ٦ لتتطبق أقرب أسنان للعضو الدوار مع أسنان الوجه B. وهكذا. يستمر الدوران بزاوية الخطوة في نفس الاتجاه مع التبديل إلى بقية الأوجه. إلا أنه يجب ملاحظة أن عزم هذا المحرك يقل عن عزم المحرك الذي يمثل الوجه فيه قطبان كما كان في الشكل رقم (١).

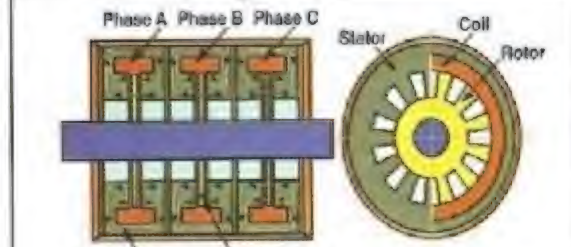
٢ - محرك الممانعة المغناطيسية المتغيرة متكرر الأجزاء Multi Stack Variable Reluctance Motor

هناك أربعة أنواع من هذا المحرك.

١- النوع الأول: يستخدم للتغلب على نقص العزم في النوع الموضح بالشكل رقم (٣) حيث يتكون المحرك

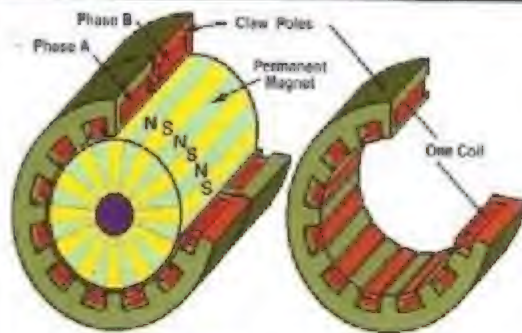


شكل رقم (٨): محرك خطوة ذو مغناطيس دائم - من جزء واحد ذي وجهين



شكل رقم (٧): محرك خطوة من ثلاثة أجزاء - ١٢ سنة من النوع القرصي





شكل رقم (٩): محرك خطوة ذو مغناطيس دائم  
أقطاب من النوع المغنطيسي بعدد ٢٤ قطب - من جزئين ذو وجهين

طريقة محرك الشكل رقم (٩) ويلاحظ أن تعاقب تغذية الأوجه يتم بحيث يكون اتجاه التيار ثابتاً في كل مرة لأي وجه، ولا يتم عكس اتجاه التيار كما يحدث مع محرك المغناطيس الدائم. كما يلاحظ، أن خطوط المجال المغناطيسي الناتجة من تغذية أقطاب العضو الثابت يجب أن تكون في نفس اتجاه خطوط المجال المغناطيسي الناتجة من المغناطيس الدائم حتى يساعد المجال ببعضه ويزداد العزم.

ولتكرار أجزاء هذا المحرك، يتم تكرار الجزأين معاً مرتين لإنقاص زاوية الخطوة إلى النصف، أو يتم تكرار الجزأين ثلاث مرات لإنقاص زاوية الخطوة إلى الثلث.

#### منظومات تغذية أوجه المحرك Excitation Systems

يتم توصيل ملفات أوجه المحرك وتغذيتها من مصدر التيار المستمر بأي من الطرق الثلاث التالية:

##### ١ - تغذية وجه واحد One Phase Excitation

في هذه الطريقة، يتم تغذية وجه واحد ثم فصله وتغذية الوجه الثاني ثم فصله وتغذية الوجه الثالث. ولعكس اتجاه الدوران، يتم عكس تعاقب الأوجه من الأول إلى الثالث ثم الثاني وهكذا، ويتغير التغذية من وجه إلى آخر. يتحرك العضو الدوران زاوية خطوة واحدة، وتكون

الدائم ويتغير العزم الكلي للمحرك من عزمين. الأول هو الناتج من الشكل الثابت للعضو الثابت والعضو الدوار - عزم الممانعة المغناطيسية المتغيرة - Reluctance Torque والثاني هو الناتج من المغناطيس الدائم - Permanent Magnet Torque. ولهذا، يكون عزم هذا المحرك أكبر من عزم أي من محركي الممانعة المغناطيسية المتغيرة أو المغناطيس الدائم.

ويتكون المحرك كما بالشكل رقم (١٠) من مغناطيس دائم بشكل اسطواني حول محور الدوران. يحيط به جزء العضو الدوار المسنن المائل لمحرك الممانعة المغناطيسية المتغيرة ذي الجزأين بالشكل رقم (٩) كما أن العضو الثابت لهذا المحرك يمثل أيضاً العضو الثابت للمحرك الشكل رقم (٩). ويتم تغذية

الوجه A في الجزء الأول مع الوجه C في الجزء الثاني ليغطي الجزء الأول دائماً قطباً جنوبياً S مقابل القطب الشمالي N في العضو الدوار، بينما يغطي الجزء الثاني دائماً قطباً شمالياً N مقابل القطب الجنوبي S للعضو الدوار. ويتبدل التغذية كما حدث في محرك الشكل رقم (٩) إلى الوجه B في الجزء الأول مع الوجه D في الجزء الثاني. يتحرك العضو الدوار زاوية خطوة بعزم كبير عن محرك الشكل رقم (٩). ويتم حساب زاوية الخطوة بتقسيم

وعلى هذا، فإن تعاقب توصيل الأوجه يتم من الوجه الأول إلى الثاني ثم إلى الأول والثاني وهكذا مع عكس اتجاه التيار لكل وجه في كل مرة عن المرة السابقة. ويتم حساب زاوية الخطوة في هذا النوع بالعلاقة  $(\theta = 360/m)$  حيث  $m$  زاوية قطب العضو الدوار  $m$  وعدد الأوجه. وتكون زاوية الخطوة للنوع الموضح بالشكل رقم (٨) = ٣٠.

وفي نوع ثانٍ لهذا المحرك يشمل الوجه جميع أقطاب العضو الثابت ويكون عدد أقطاب العضو الدوار مساو لعدد أقطاب العضو الثابت. كما أن للمحرك يجب أن يتكرر مرتين على الأقل Two Stack وتكون أقطاب العضو الدوار للجزأين على استقامة واحدة، بينما تتحرك أقطاب العضو الثابت للجزأين عن بعضهما بزاوية تساوي نصف زاوية القطب، ويمكن تكرار الأجزاء - (الأوجه) - أكثر من مرتين لإنقاص زاوية الخطوة، ويكون انحراف كل جزء عن الآخر بزاوية تساوي زاوية القطب مقسومة على عدد الأوجه. ويتم حساب زاوية الخطوة لهذا المحرك من العلاقة  $(\theta = 360/2m)$ .

وفي نوع ثالث لهذا المحرك، يشتمل الوجه من ملف واحد يكون محورياً، أي أن مجال المغناطيس في اتجاه محور المحرك Axial Flux. وتشكل أقطاب العضو الثابت بشكل سنن Claw Poles أي أن الأقطاب تكون كالمخالب المتداخلة كما بالشكل رقم (٦)، وتكون أقطاب العضو الدوار مسننة لجزئي المحرك وبعدد مساو لعدد أقطاب العضو الثابت كما بالشكل.

وبنفس أسلوب النوع الثاني، تتحرك أقطاب العضو الثابت لكل جزء عن الآخر بزاوية تساوي زاوية القطب مقسومة على عدد الأجزاء - (الأوجه) - وتحتسب زاوية الخطوة من العلاقة  $(\theta = 360/2m)$ .

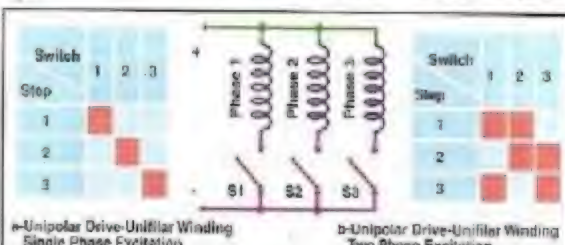
##### ٤ - المحرك الهجين Hybrid Motor يعتبر هذا النوع هجيناً من محرك الممانعة المتغيرة ومحرك المغناطيس

المغناطيس الذاتي وتتضمن خواص أدائه الديناميكي. يستخدم شكل قرصي Disk Type للعضو الدوار كما بالشكل رقم (٧) بدلاً من الشكل الأسطواني السابق ويتم حساب زاوية الخطوة بنفس طريقة النوع الثالث.

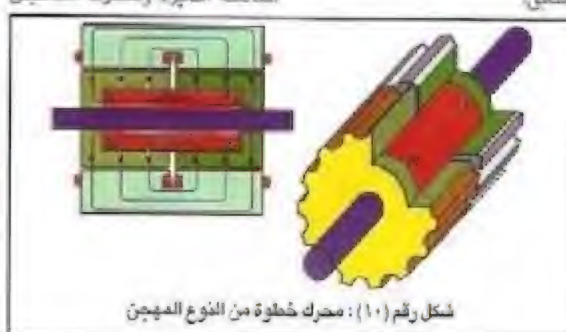
##### ٣ - المحرك ذو المغناطيس الدائم Permanent Magnet Motor

يستخدم المغناطيس الدائم في العضو الدوار لمحرك الخطوة لزيادة عزم المحرك، ولكن يعمل هذا المحرك، يجب أن يحتوي العضو الثابت على عدد من الأقطاب يساوي ضعف عدد أقطاب العضو الدوار وبموجب ترتيب ملفات أقطاب العضو الثابت في مجموعتين تكون كل منها وجهاً، وكل وجه يعطي عند تغذيته بالتيار المستمر عدداً من الأقطاب يساوي عدد أقطاب العضو الدوار كما بالشكل رقم (٨).

وعند تغذية الوجه الأول، يأخذ العضو الدوار الوضع المين بالجزء A من الشكل رقم (٨)، حيث تنشأ أقطاب هذا الوجه وبينها أقطاب الوجه الثاني لكن بدون أي مجال مغناطيسي منها. ويتبدل التغذية من الوجه الأول إلى الثاني، تنشأ أقطاب الوجه الثاني كما بالجزء B من الشكل رقم (٨) وتظهر قوى التجاذب والتنافر بين أقطاب العضو الثابت والعضو الدوار في هذا الوضع مما يسبب عزمًا يدير العضو الدوار في اتجاه عقارب الساعة حتى يتحرك زاوية خطوة يستقر بعدها في الوضع المين بالجزء C من الشكل رقم (٨)، ثم يتم تبديل التغذية من الوجه الثاني إلى الوجه الأول مع ملاحظة أن تغذية الوجه الأول في هذه المرة يجب أن يتم بحيث يكون التيار في اتجاه عكسي لما كان عليه في المرة السابقة حتى يستمر في الدوران في نفس اتجاه عقارب الساعة ولا عاد العضو الدوار في الاتجاه المضاد إلى الوضع السابق.

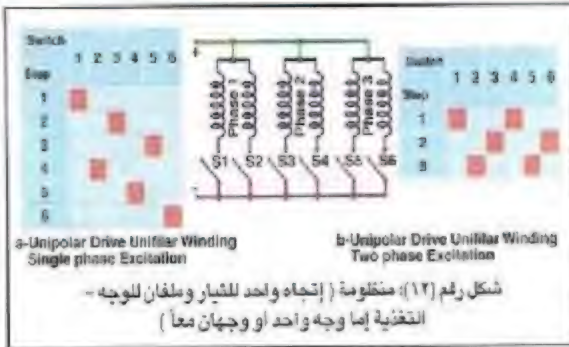


شكل رقم (١١): منظومة (إتجاه واحد للتيار وملف واحد للوجه - التغذية إما وجه واحد أو وجهان معاً)



شكل رقم (١٠): محرك خطوة من النوع المهيمن





يبين الجدول (b) بالشكل رقم (١٢) تتابع منظومة (اتجاه واحد للتيار وملفان للوجه وتغذية وجهين معاً) وهي بديلة لمنظومة الجدول (a) بهذا الشكل مع التفوق عليها في سرعة استقرار المحرك الطح عن تغذية كل وجهين معاً.

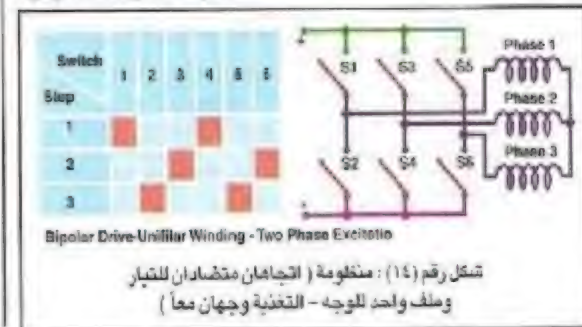
ويبين الشكل رقم (١٣) منظومة (اتجاهان متضادان للتيار وملف واحد للوجه وتغذية وجه واحد) حيث تحوى على ١٢ مفتاحاً لحرك ثلاثة أوجه ويتم تتابع توصيل المفاتيح كما بالجدول للحصول على ست خطوات التتابع، والاضطرار لاستخدام هذه المنظومة المعقدة لا يأتى إلا في حالة استخدام محركات ذات مغناطيس دائم وبعض أنواع المحرك المهجن.

ويبين الشكل رقم (١٤) منظومة (اتجاهان متضادان للتيار وملف واحد للوجه وتغذية وجهين معاً) وهي بديلة لمنظومة الشكل رقم (١٣) في حالة وجود ملف واحد للوجه وتتفوق عليها في خفض عدد المفاتيح إلى النصف وكذلك سرعة استقرار حركة المحرك.

ويمكن استنتاج منظومات أخرى تعمل عند تغذية وجه واحد ثم وجهين معاً. وأيضاً منظومات تعمل مع أى عدد آخرى لأوجه المحرك. ويلاحظ أن خصاص الأداء ليستا للمحرك تشابه كثيراً مع خواص الأداء لمحرك المغناطيسية الانتقالية.

في العدد القادم،

محركات المعاوقة المغناطيسية



تستخدم هذه الطريقة مع الحركات من النوع ذو الممانعة المغناطيسية المتغيرة Variable Reluctance حيث يمر التيار في اتجاه واحد في أى وجه مع الانتقال من زاوية خطوة إلى أخرى ومع تكرار تبديل التغذية من وجه إلى آخر لا يكون هناك ما يدعو لحكم اتجاه التيار في أى وجه عن اتجاهه في المرة السابقة. لأن أسنان العضو الدوار تنجذب إلى أسنان العضو الثابت سواء كان العضو الثابت قطباً شمالياً أو جنوبياً. الأمر الذي يبسط كثيراً تصميم الدوائر الالكترونية اللازمة لتغذية أوجه للمحرك. حيث يحتاج محرك الثلاثة أوجه إلى ثلاثة مفاتيح إلكترونية فقط.

## ٢ - اتجاهان متضادان للتيار Bipolar Drive

تستخدم هذه الطريقة مع محركات المغناطيس الدائم وبعض أنواع المحرك المهجن. حيث أنه عند تبديل التغذية من وجه إلى الأوجه الأخرى ثم العودة إلى نفس الوجه يلزم عكس اتجاه التيار في كل وجه عن اتجاهه في المرة السابقة حتى يستمر المحرك في الدوران في نفس الاتجاه، مما يتطلب زيادة عدد المفاتيح الالكترونية بحيث يكون لكل وجه أربعة مفاتيح بدلاً من مفتاح واحد كما في الطريقة السابقة.

## منظومات ملفات الوجه Phase Winding Systems

تنظم ملفات كل وجه بإحدى الطريقتين التاليتين:

١ - مجموعة واحدة Unifilar winding: تتكون ملفات الوجه الواحد عادة من ملفي قملين متقابلين بحيث تشكل مجموعة واحدة متصلة على التوالي أو التوازي. وتستخدم هذه الطريقة مع محركات الممانعة المغناطيسية المتغيرة.

٢ - مجموعتان متضادتان Bililar Winding: يتم في هذه الطريقة مضاعفة ملفات كل وجه بحيث تخصص مجموعة ينتاج مجال مغناطيسي في اتجاه معين وتخصص المجموعة الأخرى لإنتاج مجال في الاتجاه المضاد. مما يؤدي إلى انقصاص عدد المفاتيح الالكترونية إلى النصف وذلك بدلاً من

## ٢ - تغذية وجهين معاً Two Phase Excitation

يتم تغذية وجهين معاً على التوازي حيث يغذى الوجه الأول مع الوجه الثاني والدوران بزاوية خطوة يتم تغذية الوجه الثاني مع الوجه الثالث. وبزاوية خطوة أخرى يغذى الوجه الثالث مع الوجه الأول وهكذا. وتكون زاوية الخطوة في هذه الطريقة مساوية لزاوية الخطوة في الطريقة السابقة. إلا أن أسنان العضو الدوار لا تكون على استقامة أسنان وجهي العضو الثابت المغنطيين وإنما في وضع متوسط عند الاستقرار.

وتتميز هذه الطريقة عن السابقة في إحداث عزم اضمحلال لتأرجح العضو الدوار عند الانتقال من زاوية إلى أخرى. مما يؤدي إلى سرعة استقرار العضو الدوار. ويحدث هذا الاضمحلال Damping بسبب توصيل الوجهين على التوازي مما يؤدي إلى تيار دائري بينهما طلع من التأرجح ذاته.

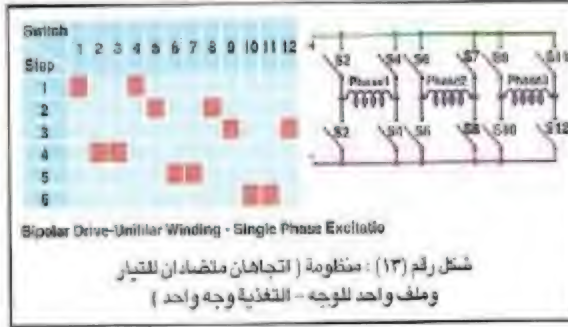
## ٣ - تغذية وجه ثم وجهين Single Phase/ Two Phase

في هذه الطريقة. يتم تغذية الوجه الأول ويأخذ العضو الدوار وضع استقامة أسنانه مع أسنان العضو الثابت، ثم يغذى الوجه الثاني دون فصل الوجه الأول فيتتحرك العضو الدوار نصف زاوية خطوة. ثم يتصل الوجه الأول ويبقى الوجه الثاني فيتتحرك العضو الدوار نصف زاوية خطوة أخرى. وهكذا. بالتدريج من وجه إلى وجهين ثم وجه ثم وجهين وفي كل مرة. يتم التحرك بنصف زاوية الخطوة. ولهذا تسمى هذه الطريقة أحياناً بطريقة نصف الخطوة Half Step Method.

## منظومات توجيه التيار Drive Circuits

يتم توجيه التيار في أى وجه بأى من الطريقتين التاليتين:

١ - اتجاه واحد للتيار Unipolar Drive





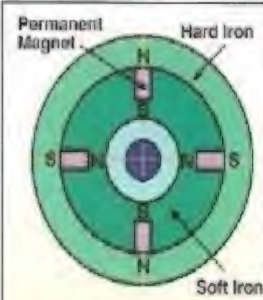
في العزم.. بل العكس فإنه يسبب بعض المشاكل مثل تذبذبات العزم التي لم تكن موجودة في محرك المعاوقة المغناطيسية التقليدي.

### ٣ - محرك المعاوقة والممانعة والمغناطيس الدائم - Hysteresis Reluctance Permanent Magnet Motor

يجمع هذا النوع، بين الأنواع الثلاثة للعزم من المعاوقة ومن الممانعة ومن المغناطيس الدائم. ولهذا فإن العضو الدوار يتكون من أسطوانة خارجية من الحديد الناضف ذي التعويق المغناطيسي الكبير لإيجاد عزم التعويق المغناطيسي. كما توجد أسطوانة داخلية مجزأة من الحديد المطاوع لإيجاد عزم الممانعة المغناطيسية. ويتم إضافة المغناطيس الدائم كما بالشكل رقم (١١) لإيجاد عزم المغناطيس الدائم.

ويتميز هذا النوع بعزم تزامنية عالية وتحسن باقي خواصه عن الأنواع السابقة.

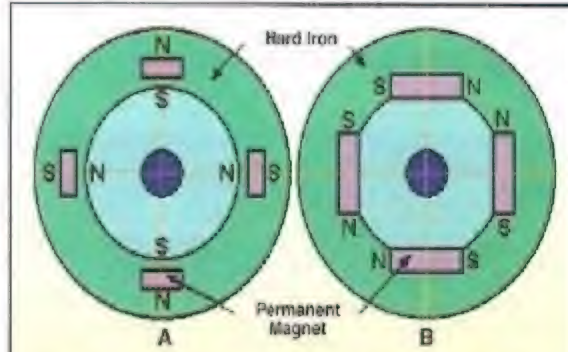
في العدد القادم:  
محركات المغناطيس الدائم



شكل رقم (١١): العضو الدوار لمحرك المعاوقة والممانعة والمغناطيس الدائم

المغناطيسية لجال المغناطيسيات الدائمة تكتمل خلال العضو الدوار من العصور إلى العضو الشاهت. وفي هذه الحالة يتلاشى عزم المغناطيس الدائم

وفي محرك المعاوقة والمغناطيس الدائم، يزداد عزم المحرك من المغناطيس الدائم فقط عندما يكون دائراً بسرعة التوازن. وهي السرعة التي تعمل بها كل هذه الأنواع خلال الدوران باستقرار مع الحمل. أما خلال فترة بدء الدوران، فإن وجود المغناطيس الدائم لا يسبب أية زيادة



شكل رقم (١٠): العضو الدوار لمحرك المعاوقة والمغناطيس الدائم

الداخل أو الخارج. ويتم إضافة أسطوانة داخلية مجزأة من الحديد المطاوع Soft Iron لتعطي عزم الممانعة المغناطيسية كما بالجزء C من الشكل رقم (٩). وينشأ عزم الممانعة في هذه الحالة بنفس نظرية محرك الممانعة المغناطيسية Segmental Reluctance Motor والذي سبق الحديث عنه في العدد (٦٩). ويلاحظ في هذا النوع، أن سمك الاسطوانة الخارجية يجب أن يقل قليلاً عن مثله في المحرك التقليدي حتى يجبر لجال المغناطيسي على المرور في الاسطوانة الداخلية المجزأة وبالتالي إيجاد عزم مناسب للممانعة.

### ٢ - محرك المعاوقة والمغناطيس الدائم - Hysteresis Permanent Magnet Motor

يتم في هذا النوع إضافة المغناطيس الدائم إلى العضو الدوار لمحرك المعاوقة المغناطيسية حتى يزداد عزم المحرك عند سرعة التوازن بمقدار العزم الناتج من المغناطيس الدائم. ويتم وضع المغناطيس الدائم بالعضو الدوار بعدة طرق. منها الطريقة الموضحة بالجزء A من الشكل رقم (١٠)، ويجب المحافظة على ترتيب قطبية المغناطيسيات الدائمة كما بالشكل. لأن تبديل القطبية في اثنين منها مثلاً يؤدي إلى إنقاص عدد الأقطاب الناتجة من المغناطيسيات الدائمة عن عدد أقطاب العضو الشاهت مما يؤدي إلى تدهور عزم المحرك.

وتتميز الطريقة الأخرى الموضحة في الجزء B من الشكل رقم (١٠) عن الطريقة السابقة، في المحافظة أكثر على عزم المعاوقة وزيادة أكثر في عزم المغناطيس الدائم، مع ضرورة المحافظة على ترتيب القطبية الموضح. لأن تبديل قطبية قطبين متقابلين مثلاً يجعل الدائرة

من سرعة التوازن. وحيث أن العضو الدوار يكون منتظم الشكل في محرك المعاوقة المغناطيسية، فإن ممانعة المغنطة  $X_H$  في الصور المباشر Direct Axis تكون مساوية لممانعة المغنطة  $X_H$  في المحور العكسي Quadrature Axis. ولكن ينشأ عزم ممانعة مغناطيسية. يجب إنقاص  $X_H$  بزيادة المقاومة المغناطيسية لمسار المجال المغناطيسي في الصور العكسي وذلك بإنقاص كمية الحديد في هذا المحور في عدد من المناطق مساو لعدد الأقطاب الناتجة من العضو الشاهت.

ويتم إنقاص  $X_H$  بعدة طرق منها: - قطع عدة أجزاء مساوية لعدد الأقطاب من السطح الخارجي للأسطوانة الحديدية ذات مستثنى التعويق المغناطيسي العريض كما بالجزء A من الشكل رقم (٩) للمحرك ذي الأربعة أقطاب.

- قطع الأربعة أجزاء من السطح الداخلي للأسطوانة الحديدية كما بالجزء B من الشكل رقم (٩). وتتميز الطريقة الثانية بالمحافظة على انخفاض تذبذبات العزم في المحرك. إلا أن عزم الممانعة المغناطيسية فيها يكون أقل منه في الطريقة الأولى. ولا يجب الخلط في قطع أجزاء كبيرة من الاسطوانة الحديدية سواء من الخارج أو الداخل. لأن الزيادة الكبيرة في حجم الجزء المقطوع يؤدي إلى إنقاص عزم التعويق المغناطيسي بنسبة كبيرة عن الزيادة في عزم الممانعة المغناطيسية.

وللمحافظة على عزم التعويق المغناطيسي عالياً وعدم وجود تذبذبات في العزم. يتم الإبقاء على الاسطوانة الحديدية الخارجية المصنوعة من الصلب الناضف Hard Iron والخاصصة بإيجاد عزم التعويق المغناطيسي بدون قطع من

الكهرباء العربية. العدد ٧٢

## أخيراً!!

جهاز اختبار يمكنك الاعتماد عليه ..

## إصلاح الكروت الإلكترونية



- يختبر ICs في الباشرة بدون الحاجة إلى الإزالة من PCB.
- يختبر ICs بكل وظائفها وأنواعها Digital & Analog Devices.
- يعمل بتقنية QSM VI التي تتيح مقارنة جميع احتمالات VI Signature.
- يوفر لك تكلفة شراء كارت جديد أو إصلاحه لدى الغير.

سابقة أعمال عريقة:

مصنع الإلكترونيات - ABB - مصنع 59 الحربي - مصر للصناعات الكيميائية - بترول للكرسي  
مصنع وسام - هيئة كهرباء مصر - وزارة التعليم - أوتيس للصناعات الدولية  
تستعمل للغزل والنسيج - العربية البرونزية - ABB



أوميغا للنظم المتكاملة

رئاسة الجمهورية واختبار المعايير والمعايير المصرية

5 ميدان المساحة - الدقي - ت: ٣٣٨١٨٣١ - ٥٠١ ٣٣٧ - فاكس: ٧٤٩٦٦٨٠



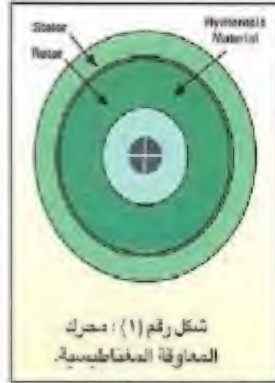
## محركات المعاوقة المغناطيسية Hysteresis Motors

د. فتحي عبد القادر

رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شيدن الكوم

أقصى قيمة لها أيضاً، ويتناقص التيار. يتناقص كثافة المجال إلى أن تصل إلى قيمة موجبة عالية عند النقطة D ورغم وصول التيار إلى الصفر وهكذا. يتكرر هذا الجزء من المنحنى في النصف السالب للتيار. ونحصل على منحنى التعويق المغناطيسي. مع ملاحظة أن تغير التيار هو نفسه تغير شدة المجال المغناطيسي H الذي يمثل الأمبير لفات للملف.

وإذا تم رسم نفس قيم كل من شدة وكثافة المجال مع الزمن، نحصل على الشكل رقم (2) مع نفس تتبع النقاط (A, B, C, D, E, F). حيث تكون موجة شدة المجال المغناطيسي تابعة لشكل موجة التيار كموجة جيبية Sinusoidal بينما تأخذ موجة كثافة المجال المغناطيسي شكلاً مختلفاً عن الشكل الجيبى، وأهم ما يجب ملاحظة في هذا الشكل.. أن موجة كثافة المجال المغناطيسي تتأخر عن موجة شدة المجال بزاوية  $\beta$  صا يعتبر سبباً رئيسياً لتشوه عزم للمحرك. وكما زادت الزاوية  $\beta$  زاد عزم المحرك وتكون أقصى زيادة عندما تصل هذه الزاوية إلى  $90^\circ$ . إلا أن هذه الزاوية تكون في العادة في حدود  $20^\circ$  وفقاً لخواص الأنواع المتاحة من الحديد للاستخدام في هذا المحرك. ويلاحظ.. أن هذه الزاوية تكون صغيرة جداً في أنواع الحديد المطرى أو المصنوع Soft Iron أو الصلب السليكونى.. حيث يكون



العضو الدوار نفسه كما كان في الحرك التائري مثلاً. وإنما تستنتج بأسلوب خاص بهذا المحرك من نظرية التعويق المغناطيسي. وإذا تم عمل علف على قطعة من حديد العضو الدوار وتم إمرار تيار متردد بهذا الملف.. فإنه يمكن معرفة قيم كثافة المجال المغناطيسي الناتج عن هذا التيار من منحنى التعويق المغناطيسي لحديد العضو الدوار كما بالشكل رقم (2). حيث عندما يكون التيار (صفر) وفي الاتجاه للزيادة الموجبة (نقطة A) تكون كثافة المجال المغناطيسي B قيمة سالبة تعبر عن المغناطيسية المتبقية في الحديد. وبزيادة التيار.. تنخفض كثافة المجال إلى أن تتساوى عند النقطة B وياستمرار زيادة التيار.. تتزايد كثافة المجال في الاتجاه الموجب إلى أن يصل التيار إلى أقصى قيمة له عند النقطة C حيث تكون كثافة المجال في

الاستخدام في أسطوانة حديد العضو الدوار.. والذي يكون من نوع ذي معاوقة مغناطيسية كبيرة، وهو ما يعبر عنه بالعرض الكبير لمنحنى التعويق المغناطيسي Hysteresis Loop والذي يتواجد في المواد الصلبة ذات الصلابة العالية Hard Magnetic Materials والتي تستخدم في تصنيع المغناطيس الدائم Permanent Magnet وهكذا. فإن العضو الدوار هنا لا يحتوي على أي ملفات وبالتالي فإنه لا يحتاج إلى التغذية من أي مصدر كهربى.

### نظرية التشغيل

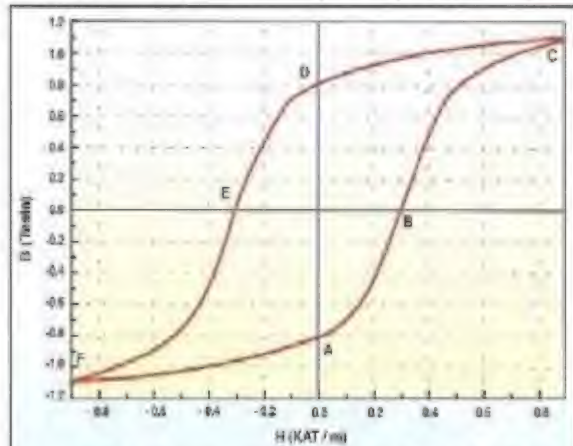
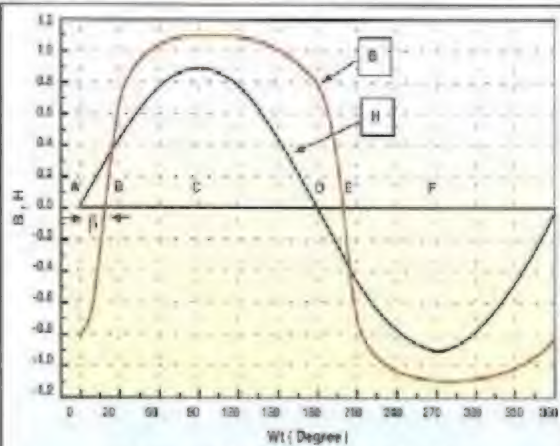
ينشأ دوران كل المحركات الكهربائية من قوى الجذب والتنافر بين أقطاب العضو الثابت وأقطاب العضو الدوار عدا محركات الممانعة المغناطيسية Reluctance Motors والمحركات الخطوية Stepping Motors حيث تنشأ الأقطاب من العضو الثابت فقط. وينشأ عزم الدوران من جذب أقطاب العضو الثابت للأجزاء الحديدية البارزة من العضو الدوار والذي لا يشترط وجود أقطاب به. أما الدوران في هذا المحرك.. فإنه ينشأ من أقطاب العضو الثابت التي يستنتج منها أقطاب في العضو الدوار تتأخر عن أقطاب العضو الثابت بزاوية في الفراغ. وينشأ العزم من قوة الجذب بين أقطاب العضو الثابت والأقطاب المستنتجة بالعضو الدوار. إلا أن أقطاب العضو الدوار لا تلتصق من تيار يستنتج في

يعتبر هذا النوع من المحركات قريباً في تكوينه ونظرية تشغيله وخواصه عن باقي أنواع المحركات الكهربائية. فهو يتميز ببساطة التركيب والدوران بسرعة الزمان الثابتة مثل المحركات التزامنية. وعند بدء الدوران يعطى عزمًا عاليًا يكاد يكون ثابتاً منذ البدء وحسباً لأقصى عزم للمحرك بشكل أفضل مما لو كان محركاً تائرياً.

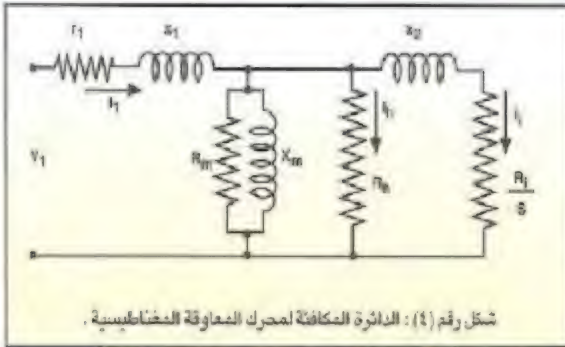
### مكونات المحرك

يتكون المحرك من عضو ثابت يمثل العضو الثابت للمحركات التائرية ثلاثية الأوجه أو ذات الوجه الواحد من رقائق الصلب السليكونى على شكل أسطوانة بها مجارى لوضع الملفات التي تكون إما ثلاثية الأوجه أو ذات وجه واحد بصيغتين للبدء والدوران. أما العضو الدوار للمحرك.. فيستكون من أسطوانة من الحديد المصمت بنفس طول رقائق حديد العضو الثابت وبمساحة مقطع كافية لإمرار خطوط المجال المغناطيسى الناتج من العضو الثابت. وتكون هذه المساحة شاملة لكل العضو الدوار حتى مسود الدوران في المحركات صغيرة القدرة. أما في المحركات الأكبر.. فإن جزءاً من العضو الدوار بين مسود الدوران والأسطوانة الحديدية يمثل عازية بالالومنيوم - شكل رقم (1).

وتنشأ الخواص الأساسية لهذا المحرك واختلافها عن باقي أنواع المحركات.. من نوعية الحديد







#### تحليل أداء المحرك

عندما تكون ملفات العضو الثابت لهذا المحرك من النوع ثلاثي الأوجه. فإن الدائرة المكافئة للوجة تكون كما بالشكل رقم (٤)، ونظراً لأن حديد العضو الدوار يكون من النوع المصمت وليس كترقائق، فإن التيارات الأعصارية أو الدوامية - Eddy Currents - تتواجد بالعضو الدوار وتنتج عزمًا تأثيريًا Induction Torque. مما يجعل الدائرة المكافئة لهذا المحرك مشابهة للدائرة المكافئة للمحرك التآثيري مع إضافة المقاومة  $R_h$  لتعبر عن التعويق المغناطيسي في المحرك.

وقد وضعت هذه المقاومة بالتوازي مع ممانعة المغنطة  $X_m$  لمحيرة عن مجال المغنطة لأنها تثار مباشرة بمجال المغنطة الواصل من العضو الثابت إلى العضو الدوار، وبهذا تحصل على عزمين في هذا المحرك، العزم الأساسي وهو عزم التعويق المغناطيسي Hysteresis Torque والعزم الثاني وهو العزم التآثيري Induction Torque وتكون قيمته صغيرة بسبب تياره الصغير للزيادة الكبيرة في مقاومة حديد العضو الدوار  $R_h$  مقارنة بمقاومة الاسلاك النحاسية أو الألومنيوم في العضو الدوار للمحرك التآثيري التقليدي.

وتمثل المقاومة  $R_m$  مفاتيح حديد العضو الثابت للمحرك. والمقاومة  $r_1$  مقاومة الوجه لملفات العضو الثابت، والممانعة  $X_1$  ممانعة الهروب لجهاز العضو الثابت.  $X_2$  ممانعة الهروب لجهاز العضو الدوار. يتم حساب العزم التآثيري المشحون بنفس الأسلوب المستخدم مع المحرك التآثيري التقليدي. أما عزم التعويق المغناطيسي فيتم حسابه بصيغة قدرة التعويق المغناطيسي  $P_h$  في المقاومة  $R_h$  من العلاقة  $(P_h = 3I_h^2 R_h)$  حيث

عرض سطح التعويق المغناطيسي ضيقاً جداً لإنقاص مفاتيح الحديد. ولهذا فإن مثل هذه الأنواع لا تصلح للاستخدام مع هذا المحرك لأن العزم الناتج سوف يكون صغيراً جداً.

ونظراً لأن العضو الثابت لهذا المحرك يمر به ثلاثة تيارات ثلاثية الأوجه في المحركات ثلاثية الأوجه. وتياران بينهما زاوية زمنية في محركات الوجه الواحد. فإنه ينتج لهذه التيارات من العضو الثابت عدد من الأقطاب تدور في الفراغ عموماً يطلق عليه المجال الدائري Rotating Field، ويمر مجال هذه الأقطاب من خلال الجزء الحديدي للعضو الدوار. حيث يستحث فيه نفس عدد أقطاب العضو الثابت بسبب التعويق المغناطيسي العريض لحديد العضو الدوار. وتتأثر أقطاب العضو الدوار عن أقطاب العضو الثابت في الفراغ بالزاوية  $\theta$  التي تكون ثابتة تقريباً منذ بدء دوران العضو الدوار. وخلال تزايد السرعة حتى الوصول إلى سرعة التزامن. وفي هذه الحالة يتناسب عزم المحرك  $T$  مع مجال العضو الثابت  $\phi_m$  ومجال العضو الدوار  $\phi_r$  وجيب الزاوية  $\theta$  أي أن  $T \propto \phi_m \phi_r \sin \theta$ . ويكون هذا العزم ثابت القيمة عند أية سرعة، ويوصل المحرك إلى سرعة التزامن، فإنه يبقى عند هذه السرعة كأي محرك تزامني من النوع الذي يحسب على المغناطيس الدائم بالعضو الدوار. إلا أنه يتفوق على محرك المغناطيس الدائم في العزم الكبير والمستقر دون تذبذب طوال فترة تزايد السرعة عند البدء. بينما يكون عزم محرك المغناطيس الدائم خلال هذه الفترة صغيراً وبه تطبيقات كثيرة.

للمحرك. يتم حساب بقية خواص المحرك كما في الأشكال أرقام (٥) - (٨).

يبين الشكل رقم (٥) تغير عزم المحرك مع تغير السرعة. حيث يبقى عزم التعويق المغناطيسي ثابتاً منذ بدء الدوران وحتى الوصول إلى سرعة التزامن، أما العزم التآثيري فإنه يكون كبيراً عند البدء ثم ينخفض خطياً مع زيادة السرعة ولا يأخذ شكل عزم المحرك التآثيري التقليدي لأن مقاومة العضو الدوار تكون عالية مثل المحرك ذي العضو الدوار المصمت Solid Rotor أي محرك السرفو التآثيري. كما أن نسبة العزم التآثيري تقل عن عزم التعويق المغناطيسي. ويكون العزم الكلي للمحرك هو مجموع العزمين - شكل رقم (٥) وعلى هذا فإن هذا المحرك يتميز بالعزم الكبير خلال فترة بدء محمل والوصول إلى سرعته المستقرة التي يجعل بها وهي سرعة التزامن في زمن بسيط ومع أن هذا المحرك يعد من المحركات التزامنية.

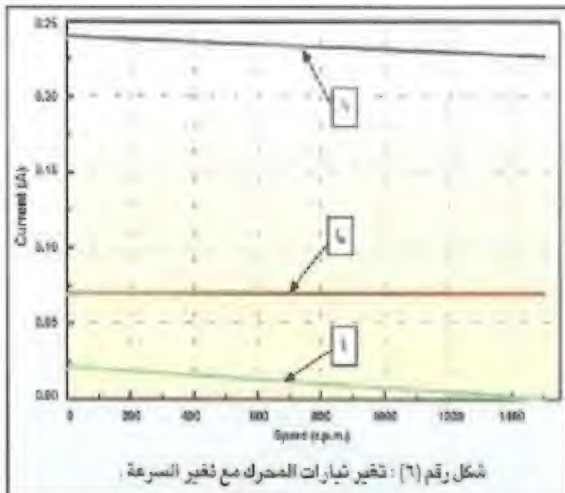
إلا أنه لا يحتاج لأية وسيلة لبدء الدوران مثل المكثفات أو القلص الموجود في العضو الدوار للمحركات

$I_h$  هو تيار المقاومة  $R_h$  كما بالشكل رقم (٤).

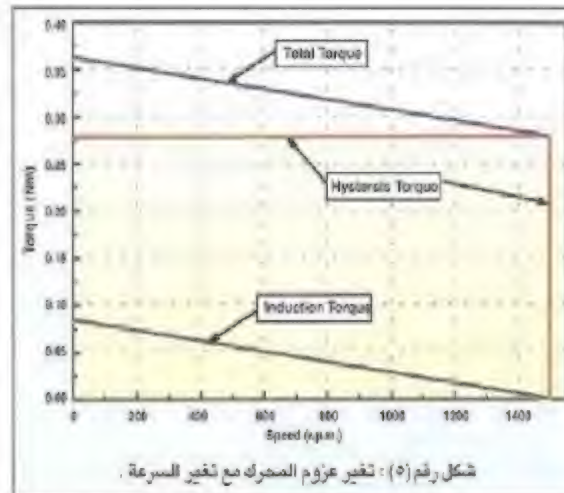
وبلاحظ، أن قدرة التعويق المغناطيسي  $P_h$  تستهلك كلها كمفقود تعويق مغناطيسي  $P_{hm}$  في حديد العضو الدوار عند مكون هذا العضو. ومع تزايد السرعة، تنخفض القدرة المفقودة في التعويق المغناطيسي بعلاقة خطية. لأنها تتناسب مع سرعة قطع المجال المغناطيسي لحديد العضو الدوار. أي أن:  $(P_{hm} = 3P_h)$ ، حيث  $S$  هي الانزلاق Slip.

أما قدرة التعويق المغناطيسي التي تعطي عزم التعويق المغناطيسي  $P_{hm}$  فإنها جزء من قدرة التعويق المغناطيسي الكلية  $P_h$  حسب العلاقة  $[P_{hm} = (1-S)P_h]$ . مع ملاحظة أن القدرة الكلية  $P_h$  تساوي مجموع القدرةين  $(P_{hm} + P_h)$  عند أية سرعة. وعند السكون تكون كل القدرة مفقودة. أي أن  $(P_h = P_{hm})$ ، أما عند سرعة التزامن، فإن كل القدرة تكون لإعطاء عزم التعويق المغناطيسي. أي أن  $(P_h = P_{hm})$ .

وبذلك يمكن حساب عزم التعويق المغناطيسي  $T_h$  من العلاقة  $(T_h = \frac{P_{hm}}{\omega})$  حيث  $\omega = 2\pi n/60$  و  $n$  سرعة المحرك. ومن البساطة المكافئة

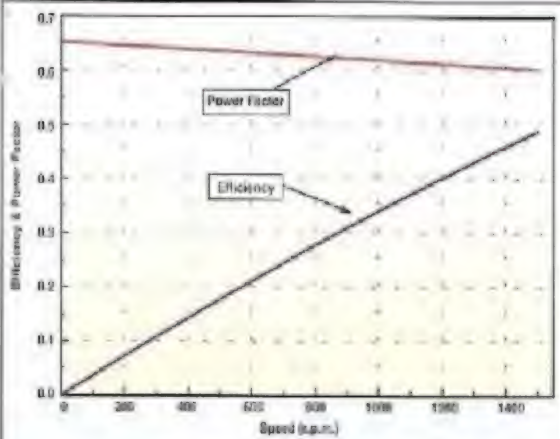


شكل رقم (٦) : تغير تيارات المحرك مع تغير السرعة.

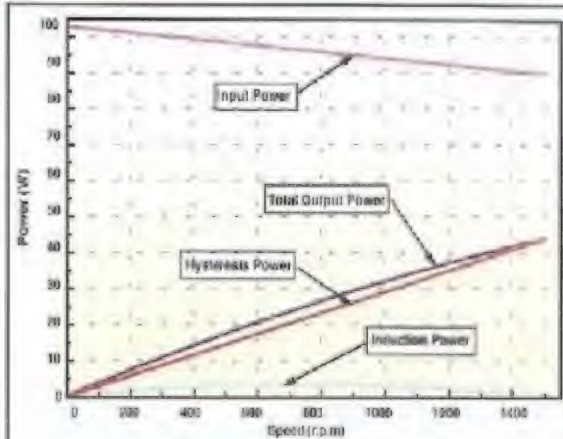


شكل رقم (٥) : تغير عزم المحرك مع تغير السرعة.





شكل رقم (٨): تغير كفاءة المحرك ومعامل القدرة مع تغير السرعة .



شكل رقم (٧): تغير قدرات المحرك مع تغير السرعة .

الأخيرة فيما يتأسس من تطبيقات مثل الساعات الكهربائية والمؤقتات Timers أجهزة التسجيل الصوتية والرفية Record players.

أما العيوب الرئيسية لهذا المحرك فتشمل في:

- كبر حجمه ووزنه بالنسبة لقدرته مقارنة بالأنواع الأخرى من المحركات مما يؤدي إلى ارتفاع ثقله.
- ارتفاع تياره بالنسبة لقدرته وانخفاض كفاءته وصغر معامل قدرته.

#### أهم أنواعه

يهدف نوع محرك المعاوقة المغناطيسية إلى تحسين خواص الأداء بحيث أن العيب الرئيسي للنوع التقليدي هو انخفاض العزم وبالتالي نقص قدرة خرجة بالنسبة لحجمه بسبب قلة كثافة المجال المغناطيسي المتحقق في الحديد والتي تقل كثافتها عن كثافة المجال المغناطيسي الناتجة من ملفات العنصر الدوار التي يمر بها تيار.

ويشتمل النوع - في تصميم المحرك بأنواع أخرى من المحركات مع الإبقاء على العنصر الدوار بدون ملفات يتم تغذيتها من الخارج حتى يظل المحرك من النوع الذي بدون فرش Brush-less لما لذلك من مميزات، وعن أهم هذه الأنواع:

١ - محرك المعاوقة والممانعة المغناطيسية - Hysteresis Reluctance Motor :

يهدف هذا النوع إلى إيجاد عزم ممانعة مغناطيسية Reluctance Torque بالإضافة إلى عزم المعاوقة المغناطيسية Hysteresis Torque. ويحدث هذا العزم المضاف فقط عند سرعة التزامن. ولا يزداد العزم خلال كل فترة بدء الدوران، أي في السرعات الأقل

وإن)، أما معامل القدرة فإنه يبقى ثابتاً تقريباً (حول ٠.٦)، وهي تعتبر قيمة منخفضة نسبيًا تعد إحدى عيوبه.

#### المميزات والعيوب

كما سبق، يتبين أن لهذا المحرك العديد من المميزات التي ساعدت على شيوع استخدامه - منها:

- بساطة التكوين
- يعمل بسرعة التزامن مثل محرك المغناطيس الدائم.
- عزم عال خلال فترة البدء.. مما يمكنه من البدء بأحمال عالية العزم ويجعله يتمتع بخاصية البدء الذاتي Self Starting.

- الاستقرار خلال فترة البدء وسرعة التزامن بدون تأخيرات في العزم، بسبب الشكل الانسيابي للعنصر الدوار

- تحمل تكرار البدء دون الحاجة لوسيلة إنقاص التيار عند البدء.
- عمر افتراضي طويل ولا يحتاج لصيانة تذكر.

- يعمل بدون ضجيج يذكر Noise less .

لهذه الأسباب، شاع استخدام هذا النوع من المحركات في الآونة

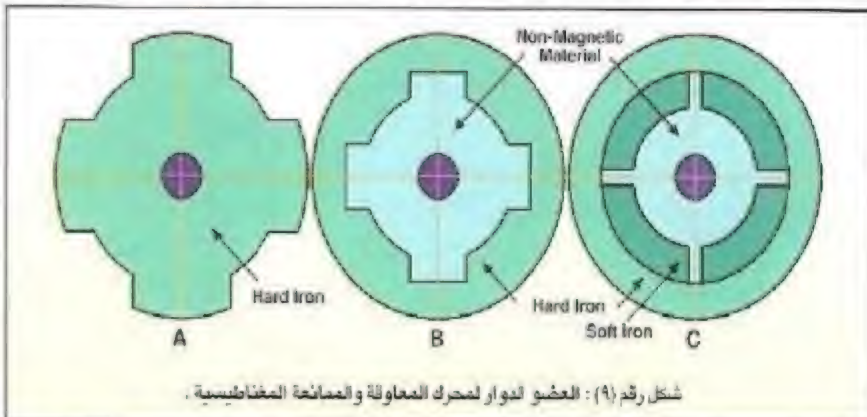
التي Induction Power الناتجة من العزم التآثيري ذات قيمة صغيرة وتساوي الصفر عند بدء الدوران وعند سرعة التزامن، أما قدرة خرج التحويل المغناطيسي Hysteresis Power فهي القدرة السائدة والناتجة من عزم التحويل المغناطيسي، وتكون مساوية للصفر عند السرعة (صفر) ورغم وجود عزم التحويل المغناطيسي لأن هذه القدرة تتناسب مع السرعة. ثم تتزايد خطياً مع السرعة كما بالشكل وتكون قدرة الخرج الكلية هي مجموع قدرة الخرج التآثيرية وقدرة خرج التحويل المغناطيسي. ويصل قدرة تحمل المحرك مجسوم قدرات الخرج والقدرات المفقودة في كل من رقائق حديد العنصر الثابت والمقاومة للمادة للمفاتيح العنصر الثابت. ويأخذ تغير قدرة الدخل الشكل الموضح.

يبين الشكل رقم (٨) كفاءة المحرك ومعامل القدرة وتغيرهما مع تغير السرعة. حيث تتزايد الكفاءة بزيادة السرعة لزيادة قدرة الخرج. وتكون قيم الكفاءة منخفضة لصغر قدرة خرج هذا المحرك (في حدود ٤٠٪)

الترانزيمية التقليدية.

يبين الشكل رقم (٧) تغير تيارات المحرك مع تغير السرعة. حيث يبقى تيار التحويل المغناطيسي في العنصر الدوار ثابتاً تقريباً للمفاتيح التآثيرية للقوة الدافعة الكهربائية على أطراف المقاومة  $R_{th}$ . أما التيار التآثيري فإن القيمة الأكبر له تكون عند البدء ويأخذ في التناقص مع زيادة السرعة إلى أن يصل إلى الصفر عند سرعة التزامن. وهو يقل في عمومته عن تيار التحويل المغناطيسي للزيادة الكبيرة في المقاومة للمادة لهذا النوع من الحديد المستخدم في هذا المحرك. ويعتبر تيار الدخل أو هو مجموع تيارات التحويل المغناطيسي والتيار التآثيري وتيار الحمل، وهو - كما بالشكل - يتغير قليلاً مع تغير السرعة. ولهذا، فإن المحرك يتحمل تكرار البدء ولا يحتاج لآلية وسيلة لانقاص تيار البدء لأنه يقارب تيار الحمل الكامل للمحرك.

يوضح الشكل رقم (٧) تغير قدرات المحرك مع تغير السرعة. حيث تكون قدرة الخرج التآثيرية



شكل رقم (٩): العنصر لدوار لمحرك المعاوقة والممانعة المغناطيسية .



# محركات المغناطيس الدائم Permanent Magnet Motors

د. فتحي عبد القادر

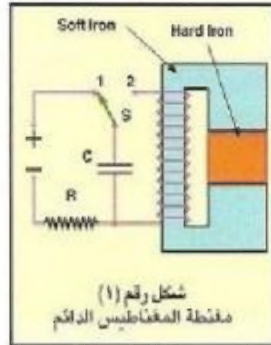
رئيس قسم الهندسة الكهربائية وأستاذ الآلات الكهربائية - هندسة شبين الكوم

١ - الشجرة الهوائية بين العضو الدوار والعضو الثابت:

تؤدي هذه الشجرة إلى إنقاص كثافة المجال المغناطيسي لتصبح عند النقطة F بدلاً من النقطة E .. وتصبح النقطة F واقعة على منحنى تعويق مغناطيسي آخر يتميز أفضل من منحنى التعويق الأساسي الذي كان بدون شجرة هوائية. ويرجع ذلك إلى أن كثافة المجال الجديدة F - ولو أنها أقل من E - إلا أنه يصعب إضعافها إلى كثافة مجال (صفر) مثلاً. حيث يوصلها إلى ذلك شدة مجال H معاكس كبير حتى النقطة G - أي سالبة - وتكون أكبر من حالة المنحنى بدون شجرة. حيث تكون H السالبة حتى النقطة K كما بالشكل رقم (٢).

وهذا يعني أن وجود الشجرة الهوائية بين العضو الثابت والعضو الدوار يجعل المغناطيس الدائم أكثر تحملاً لظروف إضعاف مجاله. وإذا حدث تغيير لأبعاد الدائرة المغناطيسية بحيث يؤدي ذلك إلى زيادة المقاومة المغناطيسية لمسار خطوط المجال المغناطيسي.. فإن هذا التغيير يشبه في تأثيره زيادة طول الشجرة الهوائية. والعكس.

٢ - المجال المغناطيسي الخارجي: عند تعرض المغناطيس الدائم لمجال مغناطيسي خارجي من أي مصدر مثل العضو الدوار عندما يكون المغناطيس الدائم بالعضو الثابت أو العكس. فإن المجال الخارجي إما أن يساعد مجال المغناطيس الدائم Magnetising أو



للخطة وبالقدر اللازم فقط لوصول كثافة المجال إلى الصفر دون قسيمة موجبة أو سالبة.

**تناقص كثافة المجال المغناطيسي**  
يرجع الأساس لكل عمليات المغطة وعمليات إنقاص أو إزالة المغطة إلى منحنى التعويق المغناطيسي-Hystere sis Loop لحديد المغناطيس الدائم كما بالشكل رقم (٢). حيث يصل التيار أثناء المغطة إلى أقصى قيمة له تجعل شدة المجال المغناطيسي (H) عند نقطة مثل C. وتكون أقصى كثافة للمجال المغناطيسي (B). عند نقطة (D). ويتلاشى تيار المغطة أو وصول (H) إلى الصفر. يبقى بحديد المغناطيس الدائم مغناطيسية متبقية عالية تمثلها النقطة E. ويوضع هذا المغناطيس الدائم - بعد مغطته - في المحرك الكهربائي. فإنه يتعرض لتأثير عدة عوامل تؤدي إلى إنقاص كثافة المجال المغناطيس الناتجة عنه. ومن أهم هذه العوامل:

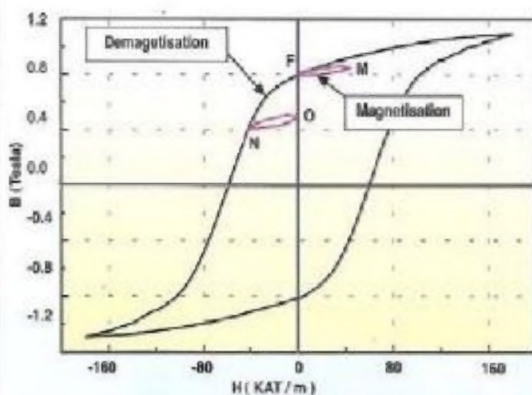
صالح للاستخدام. والتعرف على هذه المشاكل. علينا بيان كيفية الحصول على المغناطيس الدائم ومعرفة العوامل التي تؤثر عليه وتؤدي إلى إضعاف مجاله المغناطيسي.

يتكون المغناطيس الدائم من قطعة من الحديد الصلب أو سبيكة مواد حديدية. ويتم وضع هذه القطعة في دائرة مغناطيسية من الحديد الطري أو رقائق الحديد السليكوني الموضوع عليها ملف يمر به تيار كهربائي عالٍ بقدر الإمكان على شكل نبضة لجزء بسيط من الثانية حيث تتم مغطة المغناطيس الدائم. ويوضح الشكل رقم (١) طريقة بسيطة يتم بها إتمام عملية المغطة. حيث يوصل مكثف C عالي السعة بقدر الإمكان إلى مصدر تيار مستمر ذي جهد مناسب للجهد الذي يتحملة المكثف. وتوصل على التوالي مقاومة R تصد من تيار شحن المكثف ليكون مناسباً لمصدر التيار المستمر. ويتم أولاً توصيل المفتاح S في الوضع رقم 1 لعدة دقائق تكفي لشحن المكثف ووصول جهده إلى قيمة جهد مصدر التيار المستمر. ثم يتم توصيل المفتاح للوضع 2 فتتم كل شحنة المكثف العالية خلال الملف لفترة جزء من الثانية تتم فيها المغطة.

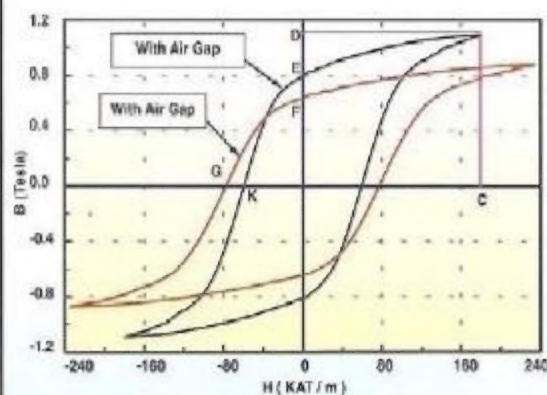
من هذا. يتضح أن عملية المغطة تتم في زمن بسيط كما أن عملية إزالة المغطة يمكن أن تتم أيضاً في زمن بسيط. وينتج الأسلوب بعد تبديل طرفي الملف. إلا أن تيار إزالة المغطة يجب أن يكون أقل من تيار

يغفل المغناطيس الدائم في كثير من المحركات الكهربائية التي تعمل على أي من التيارين المستمر أو المتردد ليشكل أيًا من العضوين الثابت أو الدوار للمحرك. كما يتم تجهيز بعض أنواع المحركات الكهربائية بالمغناطيس الدائم لتحسين خواص هذه المحركات. وسبق أن تناولنا هذه الأنواع المهيمنة في الأعداد السابقة من الكهرباء العربية.

وسوف نتناول في هذه الدراسة أنواع المحركات الكهربائية التي تعتمد على المغناطيس الدائم بالكامل في تكوين العضو الثابت أو العضو الدوار للمحرك. إذ أن استخدام المغناطيس الدائم في هذه المحركات يؤدي إلى تحسين كفاءة المحرك وتوقيع كل الطاقة الكهربائية التي كانت تستخدم لإيجاد نفس المجال المغناطيسي عن طريق ملفات توضع حول جسم الأقطاب ويمر بها تيار مستمر. وبالتالي توفير تكاليف هذه الملفات. ويؤدي استخدام المغناطيس الدائم أيضاً إلى تشغيل بعض الأنواع من هذه المحركات دون حاجة إلى استخدام فرش كربونية Brushless أو حلقات انزلاق Slip Rings أو عضو توحيد Commutator. كما يؤدي إلى زيادة حاجة المحرك للصيانة وبالتالي زيادة عمره الافتراضي. إلا أن هذه المحركات تتعرض لسوء استخدام وعدد من المشاكل تؤدي إلى إضعاف المغناطيس الدائم أو تدهور مجاله المغناطيسي مما يثقل خواص المحرك ويصبح غير

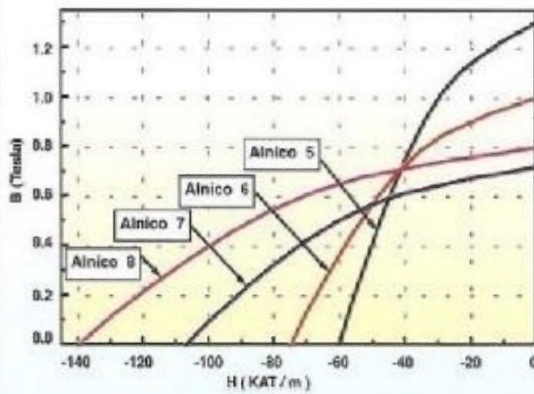


شكل رقم (٣): تأثير منحنى التعويق المغناطيسي بالمجال المغناطيسي الخارجي

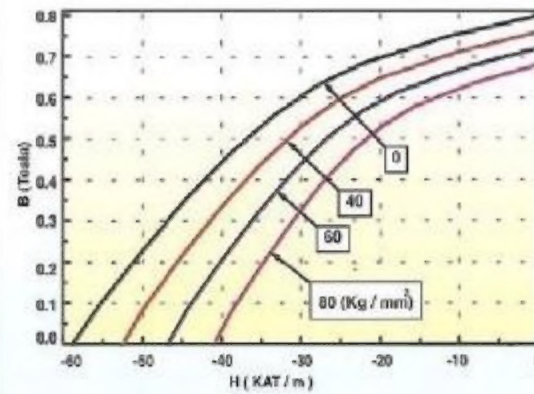


شكل رقم (٢): منحنى التعويق المغناطيسي لحديد المغناطيس الدائم





شكل رقم (٥): منحني إضعاف المغنطة لمواد مختلفة



شكل رقم (٦): تأثير منحني إضعاف المغنطة بالإجهاد الميكانيكي

مجال أقل (0.8 Tesla) بينما لا يتلاشى مجاله إلا إذا تعرض لشدة مجال عالية تصل إلى (140 KAT/m) كما بالشكل. وهناك سبائك كثيرة أخرى غيرها تستخدم في تصنيع المغناطيس الدائم مثل Cunico, Cunifo, Remalloy, Ferrite طبقاً لطبيعة استخدام المغناطيس الدائم.

وعندما تذكر الخواص المغناطيسية لنوع المادة المستخدمة في المغناطيس الدائم أو يتم مقارنتها بمواد أخرى يذكر فقط الربع الثاني من منحنى التعوييق المغناطيسي الذي تكون فيه كثافة المجال المغناطيس B موجبة وشدة المجال المغناطيسي H سالبة. لأن هذا الربع من المنحنى هو المعبر عن حالة المغناطيس الدائم بعد المغنطة وعن مدى تحمله للعوامل الخارجية المؤثرة كما بالشكلين رقمي (٤، ٥) حيث يسمى منحنى إضعاف المغنطة Demagnetisation Curve.

أنواع محركات المغناطيس الدائم  
١ - محركات تعمل على التيار المستمر:

وهي نوعان أساسيان:  
١ - المحركات ذات الموحد:  
(وهي محركات تقليدية يمثل فيها المغناطيس الدائم العضو الثابت).

٢ - المحركات ذات التيار المستمر:

٦ - الإشعاع:  
يؤدي تعرض المغناطيس الدائم للإشعاع بأنواعه المختلفة إلى نقص طفيف في كثافة مجاله المغناطيسي. لذلك يجب استخدام وسائل حاجبة Shielding لهذه الإشعاعات عن المغناطيس الدائم.

مواد المغناطيس الدائم  
يصنع المغناطيس الدائم من مواد مختلفة كل منها عبارة عن سبيكة من عدة عناصر. ويهدف التنوع إلى الحصول على مواد أكثر تحملاً لدرجات الحرارة العالية أو المجالات الخارجية المضعفة أو الإجهادات الميكانيكية وخلافاً. وأكثر المواد شيوعاً في الاستخدام هي سبائك تسمى Alnico تشكل مجموعة عناصر مكونة من الألومنيوم والنيكل والكوبالت ونسبة طفيفة من التيتانيوم والنحاس. تصل نسبتها إلى نحو ٢٠٪ والباقي هو الحديد. وبإختلاف نسب العناصر السابقة إلى الحديد. تتواجد نوعيات مختلفة من سبيكة Alnico كما في الشكل رقم (٥). حيث تعطى Alnico 5، كثافة مجال مغناطيسي عالية تصل إلى (1.3 Tesla). إلا أنه إذا تعرض لشدة مجال معارضة بسيطة في حدود (80 KAT/m) فإن مجاله يتلاشى. أما Alnico 8، فتعطي كثافة

كبيرة بحيث تؤدي إلى إضعاف المغناطيس الدائم وهناك مواد مغناطيسية مختلفة مثل Alnico تتحمل درجات حرارة حتى ٥٠٠ م. ٤ - الإجهادات الميكانيكية والصدمات:

يؤدي تعرض المغناطيس الدائم للاهتزازات والصدمات وإجهادات الضغط إلى نقص كثافة المجال المغناطيسي. يبين الشكل رقم (٤) نقص منحنى إضعاف المغنطة De-magnetisation Curve كلما زاد الضغط الميكانيكي على جسم المغناطيس الدائم. ومع استحداث مواد جديدة تستخدم لتصنيع المغناطيس الدائم. أصبح تأثير مثل هذه الإجهادات الميكانيكية ضعيفاً.

٥ - مرور الوقت والتآكل:  
لنلاحظ أنه بمرور الوقت، تقل كثافة مجال المغناطيس الدائم حتى دون أن يتعرض لعوامل خارجية كالسابق الإشارة إليها. وترجع أسباب هذا الضعف إلى حاجة جزيئات حديد المغناطيس الدائم إلى المحافظة على اتجاهاتها التي تم ضبطها في اتجاه محدد أثناء عملية المغنطة. وإذا ترك مغناطيس دائم في الهواء لعدة سنوات دون وضع أجزاء حديدية تكمل مساره المغناطيسي وتحافظ على اتجاهات جزيئاته في نفس الاتجاه الأساسي. فإن كثافة مجاله تضعف.

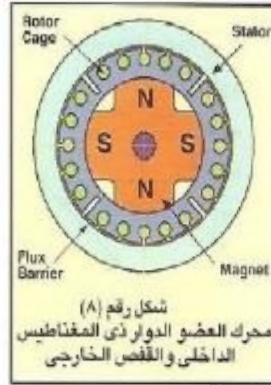
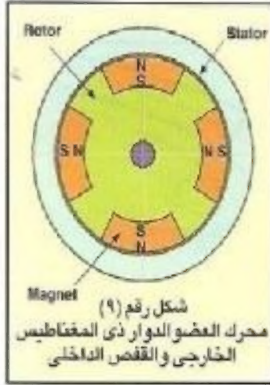
يعاكسه Demagnetising. وإذا كانت كثافة مجال المغناطيس الدائم عند النقطة F - شكل رقم (٢) - فإن المجال الخارجي السامع ينقل كثافة المجال الكلية إلى نقطة أكبر مثل M. ويتلاشى هذا المجال المساعد. تعود كثافة المجال إلى النقطة F عبر منحنى التعوييق صغير FM يسمى بمنحنى التعوييق الفرعي Minor Hysteresis Loop. أما إذا كان المجال الخارجي يعاكس مجال المغناطيس الدائم. فإن كثافة المجال تنتقل من النقطة F إلى النقطة N على المنحنى الأساسي. وتقل كثافة المجال ولا تعود إلى ما كانت عليه عند النقطة F بتلاشي هذا المجال الخارجي المعاكس. بل تعود إلى قيمة أقل عند النقطة O عبر المنحنى الفرعي NO. وهكذا. فإن تعرض المغناطيس الدائم لجسم مغناطيسي معاكس يؤدي إلى نقص كثافة مجاله حتى بعد أن يزول المجال المعاكس.

٣ - ارتفاع درجة الحرارة:  
تنتج زيادة درجة حرارة المغناطيس الدائم عادة من زيادة مقاومته الحركية. وتكون هذه الزيادة مقبولة في أحوال التشغيل العادية. أما إذا حدثت دائرة قصر Short Circuit في بعض ملفات المحرك، أو تمصيل زائد عن الحمل الكامل للمحرك دون أن تقوم أدوات حماية للمحرك بفصله عن المصدر. وكذلك إذا حدث حريق مجاور للمحرك فإن درجة حرارة المغناطيس الدائم ترتفع بدرجة عالية تؤدي إلى نقص كثافة المجال المغناطيسي للمغناطيس الدائم. مما يجعل منحنى التعوييق للمغناطيس بالكامل داخل منحنى التعوييق الأساسي قبل زيادة درجة الحرارة. مما يعني بالتالي أن المغناطيس الدائم أصبح لا يتحمل المجال المغناطيسي الخارجي المعاكس. وتكون درجات الحرارة عالية بدرجة



شكل رقم (٧): أشكال لمحرك التيار المستمر ذي الموحد والمغناطيس الدائم





تحدث مثل هذه المشاكل لأنه يماثل الأقطاب المغناطيسية بالتيار المستمر. ولذلك، تستخدم عدة أشكال من العضو الدوار للحد من هذه المشاكل .. ومن ذلك:

#### ١ - العضو الدوار ذو المغناطيس الدائم بدون قضيب سنجاب:

يتيح هذا النوع بأن الأقطاب تشغل كل العضو الدوار مما يؤدي إلى مجال مغناطيسي عال من كل قطب، ويزداد عزم تزامن المحرك وبالتالي قدرة خرجة بالنسبة لحجم المحرك. ولكن يبدأ المحرك في الدوران، فإنه يجب أن يعمل على جهاز مغير تردد وليس من المصدر المباشر ثابت التردد، بحيث يخذل المحرك عند البدء بتردد منخفض يمكن أقطاب العضو الدوار من ملاحقة دوران أقطاب العضو الثابت .. ثم يتزايد التردد بالتدريج المناسب لاستمرار ملاحقة العضو الدوار لزيادة سرعة دوران أقطاب العضو الثابت وذلك حتى الوصول للسرعة المطلوبة بالتردد المناظر.

#### ٢ - العضو الدوار ذو المغناطيس الداخلي والقضيب الخارجي:

ويسمى Interior PM Rotor. وتوضع أقطاب المغناطيس الدائم في الجزء الداخلي من العضو الدوار حول محور الدوران - كما بالشكل رقم (٨) - وخارج هذه الأقطاب توضع الشرائح الحديدية وقضيب السنجاب. إلا أنه، يجب ملاحظة أن الجزء الخاص بالقضيب السنجاب هنا يختلف كثيراً عن في المحركات التقليدية وذلك لكي يتوافق مع وجود المغناطيس الدائم. حيث يتم قطع جزء من حديد القفس Flux Barrier في المحصور بين كل قطبين لينعم مجال المغناطيس الدائم من إكمال دائرة المغناطيسية خلال حديد القفس، لأنه يجب أن تتكامل الدائرة المغناطيسية للمغناطيس الدائم خلال حديد العضو الثابت حتى ينتج عزم التزامن للمحرك. وفي نفس الوقت، فإن هذا القطع لا يكون

مغناطيسي دائري. وبذلك تنتج تيارات العضو الدوار أو القفس عزم تأثيراً في بدء الدوران .. وبعد زيادة السرعة ينتج المغناطيس الدائم عزم المحرك الأساسي التزامني.

#### جسء محركات تعمل على التيار المتردد ثلاثي الأوجه:

يتكون العضو الثابت في هذا النوع من المحركات من ملفات ثلاثية الأوجه موزعة على محيط مجاري العضو الثابت بما يماثل تماماً المحركات التقليدية ثلاثية الأوجه. أما العضو الدوار، فإنه يحتوى على المغناطيس الدائم بعدد من الأقطاب مساو لعدد أقطاب العضو الثابت. وفي مثل هذا النوع من المحركات، إذا تم توصيل العضو الثابت بمصدر ثلاثي الأوجه ٥٠ هرتز مثلاً وكان العضو الدوار يحتوى على المغناطيس الدائم فقط، فإنه لن يتمكن من بدء الدوران لأن أقطاب العضو الدوار تكون ساكنة ولن تتمكن من التجاذب مع أقطاب العضو الثابت التي تدور بسرعة التزامن. لهذا، يجب أن يشتمل العضو الدوار على وسيلة تعطي عزم تأثيراً مثل قفس السنجاب منذ بداية الدوران وحتى الوصول إلى سرعة قريبة من سرعة التزامن، والتي عندها يستمر المحرك في الدوران بسرعة التزامن الثابتة بشبهات التردد. إلا أن هناك مشاكل تحدث بسبب تواجد كل من قفس السنجاب والمغناطيس الدائم، لأنه في المحرك التزامني التقليدي الذي تنتج أقطاب العضو الدوار فيه من تيار مستمر يمر بملفات أقطابه. لا يجب توصيل التيار المستمر إلى الأقطاب إلا بعد أن تصل سرعة العضو الدوار إلى أقصى سرعة تنتج من العزم التأثيري. وإذا تم توصيل التيار المستمر عند البدء بتأرجح العضو الدوار بتذبذبات دون أن يتمكن من الدوران بنسبومة ودون أن تزداد

سرعة. وفي المحرك ذو المغناطيس الدائم، وتوجد أيضاً بنوعين:

#### ١ - المحركات الدفعية Impulse Motors:

وهي محركات تستخدم على نطاق واسع في للزمنات الزمنية Timers التي تركيب في كثير من الأجهزة والمعدات. ويتكون العضو الثابت من ملف واحد محوره في اتجاه محور دوران المحرك. ويتحمل جهد المصدر الذي يكون عادة ٢٢٠ ف ٥٠ هرتز. ويعطى هذا الملف عدداً من الأقطاب في حدود ٢٤ قطباً بنظام الأقطاب المخفية Claw Poles كما بالشكل رقم (٧). ويتكون العضو الدوار للمحرك من أسطوانة المغناطيس الدائم التي تعطي عدداً من الأقطاب في حدود ٢٠ قطباً. وفي هذا النوع من المحركات، يختلف عدد أقطاب العضو الثابت عن عدد أقطاب العضو الدوار لكي يتواجد عزم عند بدء الدوران بالنظام الدفعي.

وتعتمد نظرية العزم الدفعي  $Im$  pulse Torque خلال فترة بدء الدوران على اختلاف الخطورة القطبية للعضو الدوار عن العضو الثابت. وفي لحظة وصول تيار العضو الثابت إلى الصفر خلال موجة التيار المتردد، تنشأ قوة جذب بين أقطاب المغناطيس الدائم وحديد الأقطاب البارزة من العضو الثابت. وبين لحظات تواجد التيار بالقيمة الموجبة أو السالبة. يشد العضو الدوار في كل من اتجاهي الدوران. ولكن يندفع في اتجاه واحد تستخدم سقلمة Pawl وكامة Cam ميكانيكية أو أي نظام ميكانيكي يجبر العضو الدوار على القفز في اتجاه دوران واحد. وعندئذ يندفع ليدور بسرعة التزامن  $N_s$  التي يتم حسابها من عدد أقطاب العضو الدوار  $N_r$  المغناطيس الدائم  $2P$  وتردد المفع  $f$  من العلاقة  $(N_s = 120 \cdot f / 2P)$  مثل أي محرك تزامني.

#### ٢ - المحركات ذات المغناطيس الدائم والقطب المظلل:

وهي محركات تعتمد على إيجاد عزم تأثيري لبدء الدوران بتصنيع المغناطيس الدائم من سبيكة ذات مقاومة نوعية Resistivity صغيرة تسمح بمرور تيارات كافية بها لإيجاد عزم البدء التأثيري، أو وضع قفس سنجابي مبسط بالعضو الدوار مع المغناطيس الدائم لإنتاج العزم التأثيري المطلوب.

أما العضو الثابت، فيشكل قطبين - أو أربعة أقطاب - باستخدام ملف لكل قطب أو ملف واحد للقطبين في حالة للمحرك ذو القطبين. وعلى كل قطب توضع حلقة نحاسية تشكل القطب المظلل للحصول على مجال

#### ٢ - المحركات اللافرشية Brushless DC Motors:

وهي محركات حديثة بشكل فيها للمغناطيس الدائم العضو الدوار للمحرك. أما العضو الثابت فيحتوى على عدد بسيط من الملفات موزعة على المحيط، ويتم تبديل تغذية هذه الملفات على السنتابع مع حركة دوران العضو الدوار بواسطة دوائر الكترونية. وبذلك يتم الاستغناء عن عضو التوحيد التقليدي والفرش الكربونية بحيث يصبح للمحرك نادر الحاجة للصيانة ويزداد عمره الافتراضي وتحسن كفاءته. تفاصيل تشغيل هذا النوع يمكن الرجوع إليها في العدد رقم ٦٢ من الكهراء العربية.

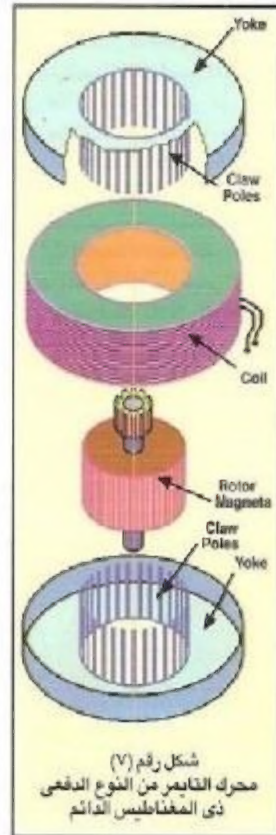
#### ب - محركات تعمل على التيار المتردد ذي الوجه الواحد:

ويتمثل العضو الدائر عضو الاستنتاج وعضو التوحيد، وما زال هذا النوع من المحركات يتم تصنيعه ويستخدم على نطاق واسع في المحركات الصغيرة في جميع أنواع السيارات والمركبات وخلافه. وفيها يأخذ المغناطيس الدائم صوراً متعددة كما بالشكل رقم (٦).

#### ٢ - المحركات اللافرشية Brushless DC Motors:

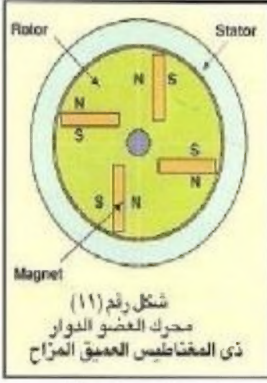
وهي محركات حديثة بشكل فيها للمغناطيس الدائم العضو الدوار للمحرك. أما العضو الثابت فيحتوى على عدد بسيط من الملفات موزعة على المحيط، ويتم تبديل تغذية هذه الملفات على السنتابع مع حركة دوران العضو الدوار بواسطة دوائر الكترونية. وبذلك يتم الاستغناء عن عضو التوحيد التقليدي والفرش الكربونية بحيث يصبح للمحرك نادر الحاجة للصيانة ويزداد عمره الافتراضي وتحسن كفاءته. تفاصيل تشغيل هذا النوع يمكن الرجوع إليها في العدد رقم ٦٢ من الكهراء العربية.

#### ب - محركات تعمل على التيار المتردد ذي الوجه الواحد:

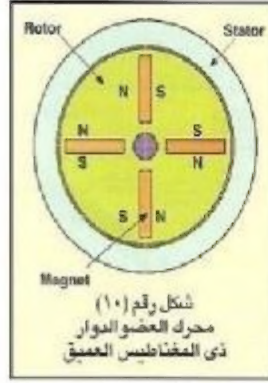


شكل رقم (٧) محرك التايمر من النوع الدفعي ذو المغناطيس الدائم





شكل رقم (١١)  
محرك العضو الدوار  
ذو المغناطيس العميق المزاح



شكل رقم (١٠)  
محرك العضو الدوار  
ذو المغناطيس العميق

وفي كل الأنواع السابقة التي تعمل على التيار المتردد ثلاثي الأوجه، إما أن يكون المصدر الكهربائي هو المصدر التقليدي ذو التردد الثابت (٥٠ هـ/ث) وفي هذه الحالة يجب أن يعطى المحرك عزمًا تأثيريًا عاليًا خلال فترة البدء، أو يكون المصدر هو أحد أنواع أجهزة تغيير التردد وفي هذه الحالة يمكن أن يكون العزم التأثيري للمحرك صغيراً ويكون كافياً لتوصيل المحرك إلى السرعة التزامنية.

في العدد القادم،  
اختبار المحركات الكهربائية

الستجاب.. أو من سبيكة حديدية كما كان في النوع السابق، ويتيح هذا التوزيع لأقطاب المغناطيس الدائم مسارات متعددة لمجال أقطاب العضو الثابت في كافة الاتجاهات من العضو الدوار لكي ينتج عزمًا تأثيريًا كافياً خلال بدء الدوران مع عزم تزامني عال بعد استقرار سرعة المحرك، وهناك توزيع أفضل لأقطاب المغناطيس الدائم، بإزالة هذه الأقطاب عن محور التماسل القطري مسافة مناسبة كما بالشكل رقم (١١) حتى يزداد كل من العزم التأثيري والعزم التزامني للمحرك.

بالعرض الضيق لمنحنى التعوييق المغناطيسي حتى تسمح بمرور خطوط المجال المغناطيسي في أي اتجاه خلال فترة بدء الدوران، تتميز هذه السبيكة أيضاً بأن المقاومة النوعية لها منخفضة عن الحديد التقليدي حتى تعطى عزمًا تأثيريًا عاليًا خلال فترة البدء.

وبالاحظ، أن هذا الشكل يحقق مرور المجال المغناطيسي في أي اتجاه عند بدء الدوران لإيجاد العزم التأثيري، ولا يحتاج لحواجز المجال Flux Barriers التي كانت مستخدمة في النوع السابق، لأن حديد العضو الدوار لا يكمل دائرة المجال المغناطيس الدائم.. كما بالشكل رقم (٩) - وهذه ميزة كبيرة لهذا النوع.

٤ - العضو الدوار ذو المغناطيس العميق:  
ويسمى Deep PM Rotor. وفيه، يتم استخدام مغناطيس دائم رقيق ذي كثافة مجال مغناطيسي عالية بحيث يكون عميقاً بالقرب من سطح العضو الدوار إلى قرب محور الدوران كما بالشكل رقم (١٠). ويكون باقي جسم العضو الدوار إما من رقائق الصلب السليكوني يشكل بها قفص

بالتكامل لحديد القفص ويترك جزء من هذا الحديد ليسمح بمرور مجال أقطاب العضو الثابت بالعضو الدوار عندما يكون هذا المجال في أي موضع خلال فترة بدء الدوران، والمعروف أن القطع بالكامل يحسن ويزيد عزم التزامن، ونظراً لتواجد تذبذبات عالية في العزم التأثيري خلال بدء الدوران، يترك جزء من قطع كما بالشكل وإن أدى ذلك إلى نقص بسيط في عزم التزامن.

ومن هذا النوع، هناك أشكال أخرى للعضو الدوار لتحقيق نفس الأهداف بأساليب مختلفة.

٣ - العضو الدوار ذو المغناطيس الخارجي والقفص الداخلي:

ويسمى Exterior PM Rotor أو Service Magnet Rotor. وفيه، يتم وضع المغناطيس الدائم على المحيط الخارجي للعضو الدوار بالتوزيع المبين في الشكل رقم (٩)، بحيث يترك جزء كاف من هذا المحيط يتواجد فيه - مع باقي جسم العضو الدوار - رقائق صلب سليكونية يوضع بها قفص العضو الدوار، أو تستبدل الرقائق والقفص بسبيكة حديدية - كما بالشكل - تتميز

P

Lectro For Electrical Products & Contracting Co.

شركة لكثرو للصناعات الكهربائية والمقاولات

- سيارات سابقة التجهيز من ٢٥ - ٦٠٠٠ أمبير
- شبكات الأرضي وموانع الصواعق
- سيارات الأوناش والأحمال المتحركة

- سراير وحوامل كابلات
- لوحات ضغط منخفض
- مقاولات كهربائية



المركز الرئيسي والمصانع: برج العرب  
المنطقة الثالثة - ت وفاكس: ٠٢/٤٥٩٣٠٥٨  
مكتب الاتصال: الإسكندرية - بولكلي  
٩٢ شى الطرصار احمد - س عود  
ت وفاكس: ٥٢٢١٩٣٤ - ٥٢٢٢١٠٢